

AUS DEM LEHRSTUHL FÜR UNFALLCHIRURGIE
DIREKTOR: PROF. DR. DR. VOLKER ALT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**PRE-SEASON TESTUNGEN
„VERTIKALER DROP-JUMP“ UND „SIDE-HOP“ ZUR BESTIMMUNG DES INDI-
VIDUELLEN RISIKOPROFILS FÜR VERLETZUNGEN DER UNTEREN EXTREMI-
TÄTEN BEI ELITE-JUGENDHANDBALLSPIELERN**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von Pia Kuchler

2019

AUS DEM LEHRSTUHL FÜR UNFALLCHIRURGIE
DIREKTOR: PROF. DR. DR. VOLKER ALT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**PRE-SEASON TESTUNGEN
„VERTIKALER DROP-JUMP“ UND „SIDE-HOP“ ZUR BESTIMMUNG DES INDI-
VIDUELLEN RISIKOPROFILS FÜR VERLETZUNGEN DER UNTEREN EXTREMI-
TÄTEN BEI ELITE-JUGENDHANDBALLSPIELERN**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von Pia Kuchler

2019

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: PD Dr. Werner Krutsch

2. Berichterstatter: PD Dr. Jens Werner

Tag der mündlichen Prüfung: 09.01.2020

Gliederung

1. Einleitung	10
1.1. Verletzungsstatistik im Handball	10
1.2. Aufbau des Kniegelenks und Entstehung der Verletzungsmechanismen	13
1.3. Verletzungsgeschehen im Jugendhandball	14
1.4. Verletzungsprävention	14
1.5. Screening-Modelle	17
1.6. Der Drop-Jump	18
1.7. Der Side-Hop	20
1.8. Ziel der Studie	22
2. Material und Methoden	22
2.1. Studienteilnehmer	22
2.2. Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien	24
2.3. Studiendesign	25
2.4. Testdurchführung	25
2.4.1. Der Drop-Jump	28
2.4.2. Der Side-Hop	29
2.5. Auswertung Drop-Jump und Side-Hop	30
2.6. Die Fragebögen	36
2.7. Ethikvotum	37
2.8. Statistische Auswertung	37
3. Ergebnisse	38
3.1. Anthropometrische Daten	38
3.2. Der Drop-Jump	39
3.2.1. Gesamt-LESS-Scores	39
3.2.1.1. LESS-Score männlicher Testpersonen	39
3.2.1.2. LESS-Score weiblicher Testpersonen	41
3.2.1.3. LESS-Score weiblicher und männlicher Testpersonen im Vergleich	42
3.2.2. LESS-Score-Parameter bei initialem Bodenkontakt	43
3.2.2.1. LESS-Score-Parameter männlicher Probanden bei initialem Bodenkontakt	43
3.2.2.2. LESS-Score-Parameter weiblicher Probanden bei initialem Bodenkontakt	45

3.2.2.3. LESS-Score-Parameter weiblicher und männlicher Probanden bei initialem Bodenkontakt im Vergleich.....	47
3.2.3. LESS-Score-Parameter bei maximaler Knieflexion.....	48
3.2.3.1. LESS-Score-Parameter bei maximaler Knieflexion männlicher Probanden.....	49
3.2.3.2. LESS-Score-Parameter bei maximaler Knieflexion weiblicher Probanden.....	51
3.2.3.3. LESS-Score-Parameter weiblicher und männlicher Probanden zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion im Vergleich.....	53
3.2.4. LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes.....	54
3.2.4.1. LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes männlicher Probanden.....	55
3.2.4.2. LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes weiblicher Probanden.....	55
3.2.4.3. LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich.....	56
3.2.5. Analyse des Knieflexionswinkels während des Drop-Jump.....	57
3.2.5.1. Knieflexionswinkel aus lateraler Ansicht männlicher Probanden.....	57
3.2.5.2. Knieflexionswinkel aus lateraler Ansicht weiblicher Probanden.....	58
3.2.5.3. Knieflexionswinkel aus lateraler Ansicht weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich.....	59
3.2.6. Knievalgus/-varuswinkel aus frontaler Ansicht.....	60
3.2.6.1. Knievalgus/-varuswinkel aus frontaler Ansicht männlicher Probanden.....	60
3.2.6.2. Knievalgus/-varuswinkel aus frontaler Ansicht weiblicher Probanden.....	63
3.2.6.3. Knievalgus/-varuswinkel aus frontaler Ansicht weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich.....	65
3.2.7. Überprüfung der Stabilität der Beinachse.....	67
3.2.7.1. Überprüfung der Stabilität der Beinachse männlicher Probanden während des Sprungablaufes.....	67
3.2.7.2. Überprüfung der Stabilität der Beinachse weiblicher Probanden während des Sprungablaufes.....	69

3.2.7.3. Überprüfung der Stabilität der Beinachse weiblicher und männlicher Probanden während des Sprungablaufes im Vergleich.....	70
3.3. Der Side-Hop.....	71
3.3.1. Knieflexionswinkel aus lateraler Sicht.....	72
3.3.1.1. Knieflexionswinkel männlicher Probanden aus lateraler Sicht.....	72
3.3.1.2. Knieflexionswinkel weiblicher Probanden aus lateraler Sicht.....	73
3.3.1.3. Knieflexionswinkel weiblicher und männlicher Probanden aus lateraler Sicht im Vergleich.....	74
3.3.2. Knievalguswinkel aus frontaler Sicht.....	75
3.3.2.1. Knievalguswinkel aus frontaler Sicht männlicher Probanden.....	75
3.3.2.2. Knievalguswinkel aus frontaler Sicht weiblicher Probanden.....	76
3.3.2.3. Knievalguswinkel aus frontaler Sicht weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich.....	77
3.3.3. Stabilität der Beinachse während des Bewegungsablaufes.....	81
3.3.3.1. Stabilität der Beinachse während des Bewegungsablaufes männlicher Probanden.....	81
3.3.3.2. Stabilität der Beinachse während des Bewegungsablaufes weiblicher Probanden.....	82
3.3.3.3. Stabilität der Beinachse während des Bewegungsablaufes weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich.....	83
3.3.4. Weitere Parameter zur Bewertung des Side-Hops.....	85
3.3.4.1. Weitere Parameter zur Bewertung des Side-Hops männlicher Probanden.....	85
3.3.4.2. Weitere Parameter zur Bewertung des Side-Hops weiblicher Probanden.....	86
3.3.4.3. Weitere Parameter zur Bewertung des Side-Hops weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich.....	88
3.4. Verletzte Spieler.....	89
3.4.1. Einzelergebnisse des Drop-Jumps der verletzten Spielerinnen.....	89
3.4.1.1. Einzelergebnisse des Drop-Jumps der verletzten Spielerinnen für das linke Bein.....	89
3.4.1.2. Einzelergebnisse des Drop-Jumps der verletzten Spielerinnen für das rechte Bein.....	91

3.4.1.3. Einzelergebnisse des Drop-Jumps der verletzten Spielerinnen beider Beine im Vergleich.....	93
3.4.2. Der LESS-Score der verletzten Spielerinnen.....	96
3.4.3. Einzelergebnisse des Side-Hops der verletzten Spielerinnen.....	97
3.4.3.1. Einzelergebnisse des Side-Hops der verletzten Spielerinnen für das linke Bein.....	97
3.4.3.2. Einzelergebnisse des Side-Hops der verletzten Spielerinnen für das rechte Bein.....	99
4. Diskussion.....	101
4.1. Aussagekraft des Drop-Jumps.....	102
4.2.. Aussagekraft des Side-Hops.....	104
4.3. Ursachen für die schwache Aussagekraft der Videoanalysen.....	106
4.4. Präventionsprogramme zur Vermeidung von Knieverletzungen.....	106
4.5. Verletzungsursachen.....	108
4.6. Limitierung des Studiendesigns.....	109
5. Fazit.....	110
6. Literaturverzeichnis.....	111
7. Abkürzungsverzeichnis.....	117
8. Danksagung	
9. Lebenslauf	
10. Eidesstattliche Erklärung	

Zusammenfassung

Einleitung: In der Literatur werden verschiedenen Screening-Verfahren zur Identifizierung von Risikofaktoren späterer Kreuzbandverletzungen beschrieben. Das Ziel dieser Studie war es, einen Zusammenhang zwischen bestimmten Kniebewegungen während einer Risikobewegung und möglicherweise auftretenden Verletzungen herzustellen und zu testen, ob Handballspieler mit späteren Kreuzbandrupturen identifiziert werden können.

Methodik: 178 junge Elitehandballspieler (Alter: $15,1 \pm 0,8$ Jahre, Größe: $173,7 \pm 9$ cm, Gewicht: $66,3 \pm 10,9$ kg) beider Geschlechter absolvierten einen Screening-Test vor der Saison, der sowohl den Drop-Jump als auch den Side-Hop beinhaltete. Die Sportler wurden 1-2 Jahre prospektiv begleitet und in dieser Zeit hinsichtlich akuter, nicht traumatischer Verletzungen des vorderen Kreuzbandes beobachtet. Der Less-Score, die Knieadduktion und Knieflexion sowohl zum Zeitpunkt des initialen Kontakts als auch zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion, sowie der Knievalguskollaps wurden mit Hilfe von Videoanalysen erfasst. Eine gerade Beinachse wurde mit 180° festgelegt. Es wurde nach Verletzungsrisikofaktoren gesucht und die Differenz zwischen den beiden Geschlechtern beurteilt.

Ergebnisse: Es traten 3 Verletzungen des vorderen Kreuzbandes während der zu untersuchenden Saison auf, bei denen allerdings zuvor keine erhöhten Risikofaktoren identifiziert werden konnten. Es konnte ein Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern bezüglich der Bewegungen im Kniegelenk festgestellt werden. Beim Drop-Jump zeigten die männlichen Sportler eine kleinere ($96 \pm 14^\circ$) maximale Knieflexion als die weiblichen Athleten ($91 \pm 11^\circ$, $p < 0,01$). Außerdem konnten Seitenasymmetrien für beide Geschlechter festgestellt werden. Weibliche Testpersonen landeten bei initialem Kontakt mit dem rechten Bein in stärkerer Knievalgusstellung als ihre männlichen Kollegen ($p < 0,01$). Zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion zeigten die weiblichen Probanden, sowohl für das rechte Bein (männlich: $166 \pm 10^\circ$, weiblich: $157 \pm 11^\circ$, $p < 0,01$), als auch für das linke Bein (männlich: $174 \pm 5^\circ$, weiblich: $170 \pm 6^\circ$, $p < 0,01$) stärkere Knievalgusstellungen. Während der Side-Hop-Tests stellte sich heraus, dass ein Knievalguskollaps öfter bei den Mädchen als bei den Jungen auftrat. (Links: 12 Mädchen vs. 6 Jungen, $p = \text{n.s.}$; rechts: 14 Mädchen vs. 6 Jungen, $p = \text{n.s.}$)

Fazit: Die Videoanalysen des Drop-Jumps und des Side-Hops zeigten geschlechtsbezogene Unterschiede in Bezug auf Asymmetrien der unteren Extremitäten jugendlicher Elitehandballspieler. Es konnten allerdings keine Risikofaktoren für spätere Verletzungen des vorderen Kreuzbandes mit diesen beiden Tests identifiziert werden, was möglicherweise der körperlichen Entwicklung der Sportler, dem durchgeführten handballspezifischen Präventionsprogramm oder der, zur Analyse der eher seltenen VKB-Rupturen im Handball, relativ kleinen Studienkohorte zuzuschreiben ist.

Purpose: A number of screening tasks have been used in the literature to identify those at greatest risk of future ACL injury. The purpose of this study was to examine the relationship in knee kinematics between high risk manoeuvres and to determine whether individuals with future ACL injury can be identified.

Methods: 178 youth elite team handball players (age: 15,1 \pm 0,8 years, height: 173,7 \pm 9 cm, weight: 66,3 \pm 10,9 kg) of both sexes completed a preseason testing including drop-jump and side-hop and were prospectively followed for 1-2 years for any acute, non-traumatic ACL injury. Landing Error Severity Score, knee adduction and knee flexion at initial contact, peak knee adduction moment, peak knee flexion angle and valgus collapse were assessed by means of video analysis. A straight leg axis was defined as 180 degree. Logistic regression models were used to search for injury risk factors and to analyze differences between the two sexes.

Results: 3 severe knee injury/ ACL injury had occurred during the investigated seasons but no risk factor could be identified for future ACL injury. Differences in knee kinematics between the two sexes could be established. During Drop-Jump testing, male players (96 ± 14 degree) showed a stiffer maximum knee flexion compared to female players (91 ± 11 degree, $p < 0.01$). Side asymmetries could be seen for both sexes, and female players landed in a higher knee valgus in the right leg compared to male players at initial contact ($p < 0.01$) and at maximum knee flexion for the right (166 ± 10 degree vs. 157 ± 11 degree, $p < 0.01$) and left (174 ± 5 vs. 170 ± 6 , $p < 0.01$) lower limb. During SH testing, a knee valgus collapse was seen more frequently in girls than in boys for the left (12 girls vs. 6 boys, OR 2.1, 95% CI 0.74 – 5.92, $p = \text{n.s.}$) and right side (14 girls vs. 6 boys, OR 2.5, 95% CI 0.91 – 6.99, $p = \text{n.s.}$).

Conclusions: Video analysis of drop jump and side hop showed sex differences and asymmetries for male and female elite youth team handball players. However, no risk factor could be identified for future ACL injury, possibly due to effects of maturation and handball-specific neuromuscular prevention exercises.

1. Einleitung

Mannschaftssportarten weisen zahlreiche positive Aspekte auf, die es für viele Personen attraktiv machen diese auszuüben. Dazu zählt sowohl die soziale Komponente als auch die Tatsache, dass sich körperliche Aktivität positiv auf das Herz-Kreislauf-System auswirkt. Vor allem der Handballsport übt durch seine schnellen, abwechslungsreichen Spielabläufe eine große Faszination auf die Sportler aus. In Deutschland rangiert Handball auf Platz zwei der Beliebtheitsskala von Mannschaftssportarten. Einen deutlichen Aufschwung erhielt die Sportart unter anderem durch die Handball-Weltmeisterschaft 2007, die die deutsche Mannschaft am 4. Februar 2007 gewinnen konnte und durch den Europameistertitel 2016. Durch die Handball WM 2019, die zum Teil in Deutschland ausgetragen wurde, und bei der die deutsche Mannschaft einen 4. Platz erreichte, wurde die Handball-Euphorie in der Bevölkerung noch einmal stärker entfacht.

1.1. Verletzungsstatistik im Handball

Trotz des steigenden Beliebtheitsgrades, darf das Verletzungsrisiko sowohl im Breiten- als auch im Spitzensport nicht unterschätzt werden. Um das Unfallgeschehen in Mannschaftssportarten besser beurteilen zu können, hat die VBG (Verwaltungsbeurteilungsgenossenschaft) eine Verletzungsstatistik erhoben, bei der unter anderem Handballspieler der Handball-Bundesliga und der 2. Handball-Bundesliga der Herren in der Saison 2015/2016 berücksichtigt wurden. Der Beobachtungszeitraum lag zwischen dem 01.07.2015 und dem 30.06.2016 und die berücksichtigten Spieler mussten in diesem Zeitraum mindestens einen Pflichtspieleinsatz in nationalen oder internationalen Wettbewerben für ihren Club bestreiten. Berücksichtigt wurden dabei Verletzungen, die zu finanziellen Leistungen der VBG und/oder zur Arbeitsunfähigkeit des Spielers geführt haben (Luig et al. 2017). Wie auch in der Saison 2014/2015 verzeichnete der VBG Sportreport auch in der Saison 2015/2016 ein unverändert hohes Verletzungsrisiko von professionell spielenden Mannschaftssportlern der ersten bzw. zweiten Liga bei den Herren (Luig et al. 2017). Basierend auf Aufzeichnungen der VBG veröffentlicht Dr. Patrick Luig eine Studie, aus der hervorgeht, dass bei Handballspielern, vor allem die Schultern, die Hände und die unteren Extremitäten von Verletzungen betroffen sind. Die Verletzungsinzidenz liegt dabei bei 4,3 Verletzun-

gen pro 1000 h Spielzeit. 88,8% der Verletzungen waren akute Verletzungen. Wobei die unteren Extremitäten mit 52% sehr häufig betroffen waren. Als Verletzungsursache konnten Kontusionen (27,1%) und Verstauchungen (26,5%) am häufigsten festgestellt werden (Luig et al. 2018). Betrachtet man die Verletzungsverteilung auf die verschiedenen Körperregionen, kristallisieren sich vor allem der Knie- und Sprunggelenksbereich als sehr häufig verletzte Körperregionen heraus. Betrachtet man neben der reinen Verletzungshäufigkeit auch den damit verbundenen Trainingsausfall und den entstehenden Behandlungsaufwand, so führen die Kniegelenksverletzungen die Liste der häufigsten Verletzungen mit dem höchsten Schweregrad an. Dahinter rangieren mit etwas Abstand die Hand und Schulterverletzungen (Luig et al. 2017). Die nachfolgenden Diagramme verdeutlichen noch einmal die Verteilung der Verletzungen auf die einzelnen Körperregionen sowie die Zusammensetzung der Erkrankungen pro Körperteil. Die Werte entstammen dem VBG Sportreport 2017 (Luig et al. 2017).

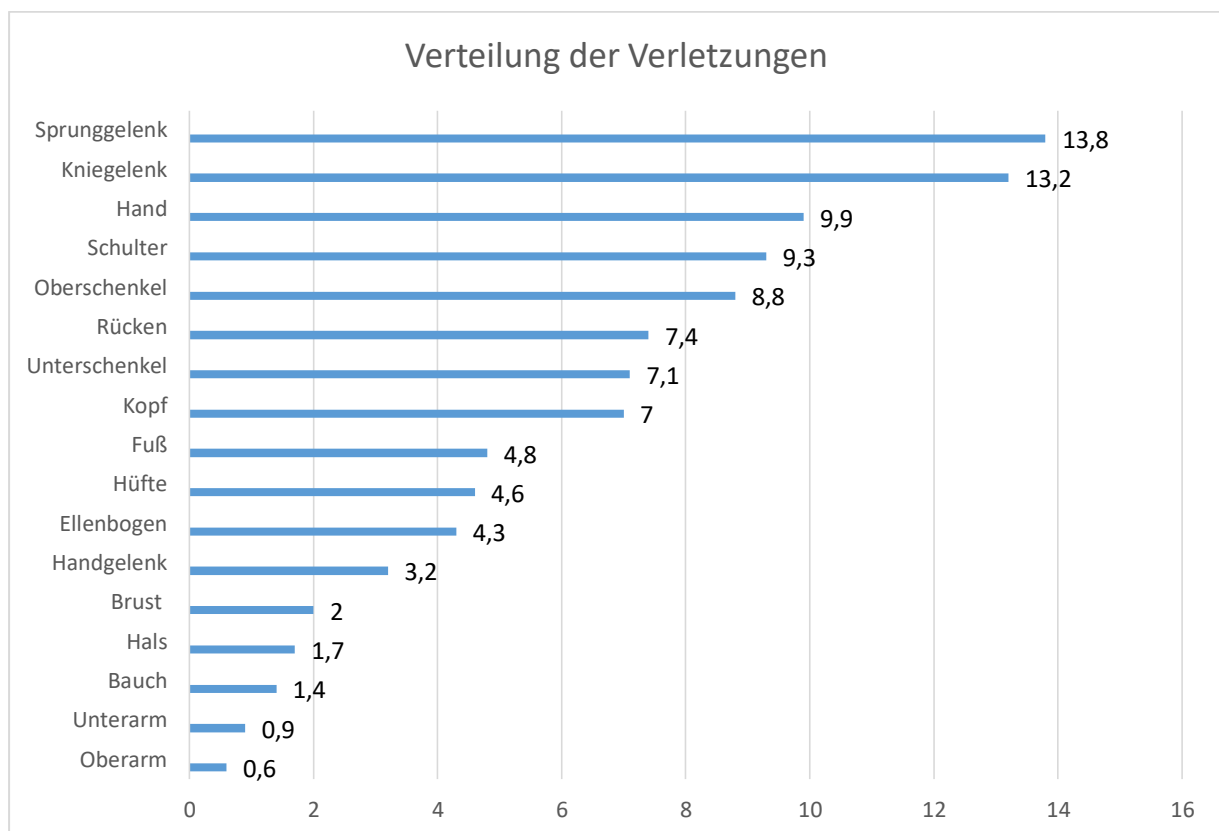
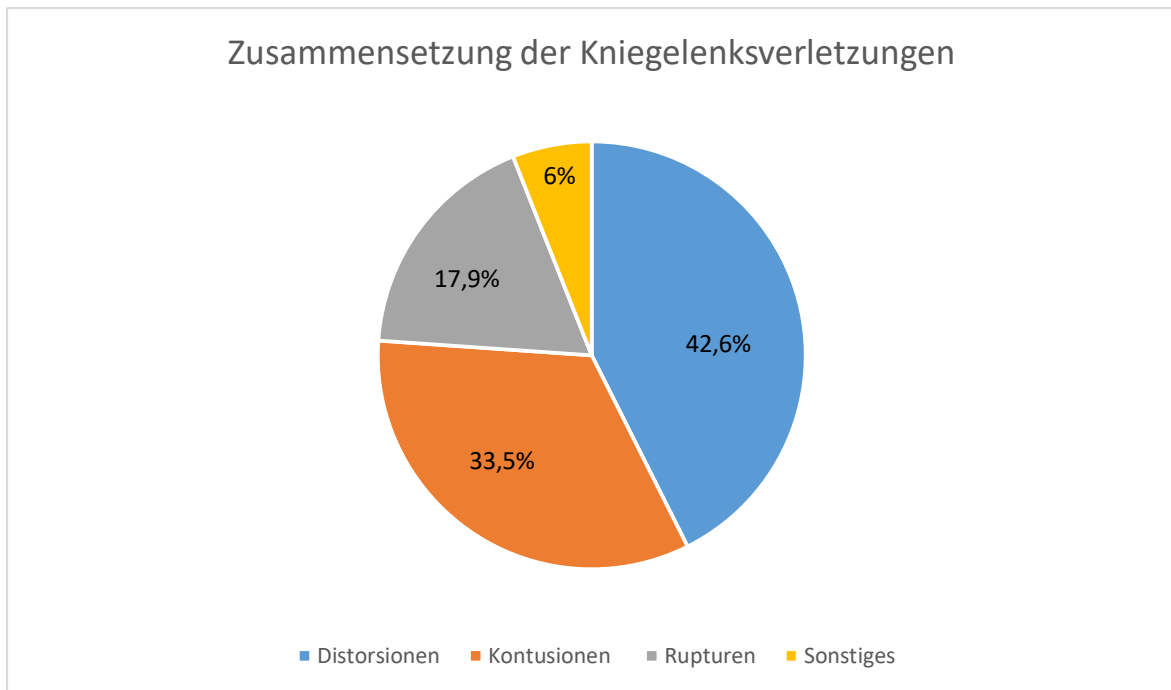
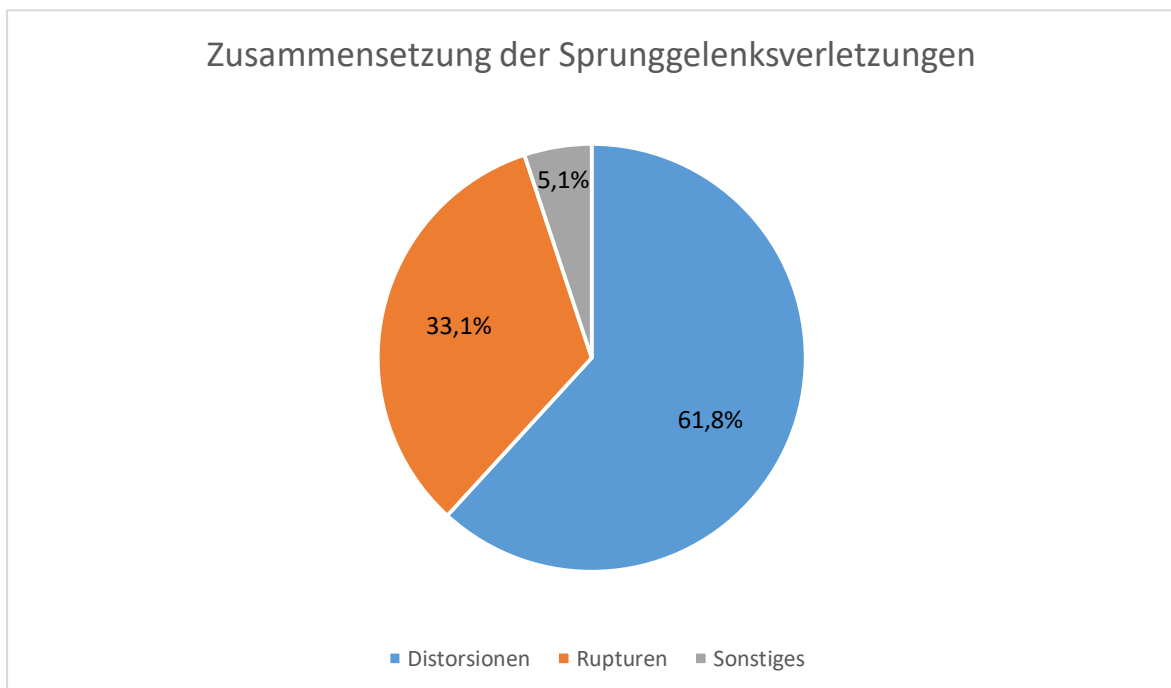


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der Verletzungen auf die verschiedenen Körperregionen (VBG Sportreport 2017; Luig et al. 2017)



*Abbildung 2: Prozentuale Zusammensetzung der Kniegelenksverletzungen
(VBG Sportreport 2017; Luig et al. 2017)*



*Abbildung 3: Prozentuale Zusammensetzung der Sprunggelenksverletzungen
(VBG Sportreport 2017; Luig et al. 2017)*

1.2. Aufbau des Kniegelenks und Entstehung der Verletzungsmechanismen

Im Kniegelenk artikulieren die Gelenkkondylen des Oberschenkels mit beiden Gelenkflächen des Schienbeines. Es stehen also zwei Knochen in gelenkiger Verbindung. Das Kniegelenk erlaubt als Drehwinkelgelenk, Beuge- und Streckbewegungen sowie im gebeugten Zustand auch Drehbewegungen. Um punkthafte Kontakte zwischen den Gelenkflächen von Oberschenkel und Schienbein auszugleichen, sind zwischen den artikulierenden Gelenkkondylen der mediale und laterale Meniskus eingeschoben. Zusammen mit dem Bandapparat und der Patella machen sie das Kniegelenk zu einem stabilen aber auch komplizierten Gelenk. Der Bandapparat ist überwiegend für die Führung des Kniegelenks verantwortlich. Die beiden Kreuzbänder verhindern vor allem in der labilen Beugestellung, in der die Seitenbänder erschlaffen, ein Nachvorne- (vorderes Kreuzband) bzw. Nachhintengleiten (hinteres Kreuzband) des Schienbeinkopfes. In jeder Kniegelenksstellung sind einzelne Anteile des Kreuzbandes angespannt. Das vordere Kreuzband ist zum Zeitpunkt der völligen Kniestreckung unter maximaler Zugspannung und verhindert somit in gestrecktem Zustand jegliche Drehbewegung (Weineck 1996 und Weineck 2010). Eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes kommt typischerweise durch eine Rotationsverletzung in Kombination mit einer Valgusstellung im Kniegelenk zustande. Besonders häufig tritt diese Verletzung in Ballsportarten auf, wenn der Spieler sich mit dem Oberschenkel über dem festgestellten Unterschenkel dreht. Dabei können je nach Unfallmechanismus auch noch andere Strukturen verletzt werden. Beim Valgus-Rotationstrauma kann es zusätzlich zu einer Ruptur des Innenbandes und des Innenmeniskus kommen, was als Unhappy Triad bezeichnet wird (Grifka et al. 2013). Die Verletzungen können in 5 Schweregrade eingeteilt werden. Eine minimale Verletzung bedeutet eine Abwesenheit vom Mannschaftshandballsport von 0 Tagen. Eine leichte Verletzung führt zu einer Beeinträchtigung von 1-3 Tagen, eine milde- von 4-7 Tagen und eine mäßige- Verletzung führt zu einer Beeinträchtigung von 8-28 Tagen. Alle Verletzungen, die einen Ausfall von mehr als 28 Tagen bedeuten, werden als schwer eingestuft (Fuller et al. 2006, Olsen et al. 2006, Soligard et al. 2008). Zu den schweren Verletzungen zählen unter anderem Rupturen des Kreuzbandes (Achenbach et al. 2017). Eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes verursacht zum einen Schmerzen und Bewegungseinschränkungen und zum anderen eine Gangunsicherheit (Niethard et al. 2014).

1.3. Verletzungsgeschehen im Jugendhandball

Während bei erwachsenen Handballspielern der Verletzungshergang, die Ursachen, der Heilungsverlauf und die Rehabilitationsmaßnahmen bereits untersucht wurden, findet man im Jugendbereich zu dieser Thematik noch keine ausführlichen Forschungsergebnisse. Ähnlich wie bei den Erwachsenen stehen aber auch hier Knie- und Sprunggelenksverletzungen im Vordergrund. Das Verletzungsrisiko, das bei Kontaktsportarten an sich schon recht hoch ist, wird bei jugendlichen Handballspielern zusätzlich noch durch Faktoren, wie dem Wachstumsschub, der Anfälligkeit der Wachstumsfuge und den unterschiedlichen Adaptationen an physiologische Belastungsreize verstärkt. Ferner spielen die schon in jungen Jahren hochgehaltenen Trainingsbelastungen und eine hochfrequente Teilnahme an Wettkämpfen, welche oftmals keine ausreichenden Erholungsphasen erlauben, eine erhebliche Rolle bezüglich des Verletzungsrisikos. Vor allem die Vorbereitungsperiode, mit einem plötzlichen Anstieg der körperlichen Belastung, der Wechsel in eine höhere Liga oder eine professioneller spielende Mannschaft und der Übergang vom Junioren- zum Senioren-Lager stellen unter anderem ein erhöhtes Risiko dar, an einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes zu erkranken. Durch plötzlich ansteigende körperliche Belastung und der damit verbundenen neuromuskulären Erschöpfung, haben die Spieler eine verminderte Propriozeption, was zu einer erhöhten Belastung der Gelenke der unteren Extremitäten führt. Die Sportverletzungen schränken aber nicht nur das regelmäßige Training oder die Teilnahme an Wettkämpfen ein, sondern erhöhen auch das Risiko, an einer posttraumatischen Osteoarthritis zu erkranken.

1.4. Verletzungsprävention

Alleine aus diesen Gründen ist eine sorgfältige Verletzungsprävention vor allem im Jugendbereich unabdingbar. Die Prävention jeglicher Art von Verletzungen beinhaltet die Primär-Prävention, die Sekundär-Prävention und die Tertiär-Prävention. Die Primär-Prävention verhindert, dass die Verletzung überhaupt entsteht (Tator 2009). Mögliche Maßnahmen sind zum Beispiel verschiedene Aufwärmprogramme, die gezielt verletzungsanfällige, körperliche Schwachstellen trainieren. Mitglieder des Osloer Zentrums für Sporttraumaforschung und der Trainerstab des norwegischen Hand-

ballverbandes entwickelten ein Aufwärmprogramm, welches vier verschiedene Übungsansätze in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden enthält. Der Schwerpunkt dieses Programmes liegt auf einer Verbesserung der Wahrnehmung und Kontrolle von Knien und Knöcheln beim Stehen, Laufen, Springen und Landen. Die Übungen können mit dem Ball und unter Verwendung von Wackelbrettern und Balance-Boards durchgeführt werden. Zu Beginn steht ein Aufwärmprogramm, welches Übungen aus dem Lauf-ABC enthält. Im Anschluss folgt ein Techniktraining, bei dem vor allem Stemmschritte und schnelle Seitwärtsbewegungen sowie Landungen nach Sprungwürfen im Vordergrund stehen. Der 3. Teil beinhaltet Übungen zur Schulung des Gleichgewichts, und wird unter Zuhilfenahme von Wackelbrettern und Balanceboards ausgeführt. Im letzten Teil wird die Muskelkraft der Sportler verbessert.

Aufwärmübungen :

(30 Sekunden/ 1 Wiederholung)

- Joggen von einem zum anderen Hallenende
- Rückwärtslaufen mit Sidesteps
- Kniehebelauf und Anfersen
- Seitwärtslauf mit Überkreuzen
- Seitwärtslauf mit gestreckten Armen
- Vorwärtslauf mit Rumpfrotationen
- Vorwärtslauf mit intermittierenden Stopps
- Sprint

Technikübungen:

(eine Übung pro Trainingseinheit
für jeweils 4 Minuten und 5x30
Sekunden)

- Stemmschritte und schnelle Seitwärtsbewegungen
- Sprungwurf-Landungen

Gleichgewichtsübungen:

(auf einem Balanceboard oder
Wackelbrett; eine Übung pro Trai-
ningseinheit jeweils 4 Minuten und
2x90 Sekunden)

- Ballübergabe im Zweibeinstand
- Kniebeugen im Ein-oder Zweibeinstand
- Ballübergabe im Einbeinstand
- Prellen des Balles mit geschlossenen Augen
- sich gegenseitig aus dem Gleichgewicht bringen

Kraftübungen:

(2 Minuten und 3x10 Wiederholungen pro Übung)

- Kniebeugen bis 80° der Knieflexion
- Sprunglauf
- beidbeinige Strecksprünge
- Nordic hamstring lowers (2 Minuten und 3x10 Wiederholungen)

Mit Hilfe einer kontrollierten, randomisierten Studie konnten die Forscher des Osloer Zentrums für Sporttraumaforschung herausfinden, dass ein strukturiertes, konsequent durchgeführtes Aufwärmprogramm (wie oben beschrieben) akute Verletzungen an Knie- und Sprunggelenk um bis zu 50%, und schwere Verletzungen sogar noch effektiver reduzieren kann (Olsen et al. 2005). Die Sekundär-Prävention beinhaltet eine professionelle Betreuung einer bereits entstandenen Verletzung, um zu verhindern, dass sich zum einen die Situation für den verletzten Sportler noch weiter verschlechtert und zum anderen, dass das Auftreten von Folgeerkrankungen vermieden werden kann (Tator 2009). Dazu zählen regelmäßige ärztliche Kontrollen der Verletzung, sowie eine begleitende physiotherapeutische und medikamentöse Therapie. Die Tertiär-Prävention beinhaltet vor allem Strategien, die Langzeit-Komplikationen verringern bzw. sogar ganz vermeiden sollen. Außerdem beinhaltet sie Maßnahmen der sogenannten Rückfallprophylaxe (Tator 2009). Gerade der Rückfallprophylaxe sollte Bedeutung geschenkt werden, da laut einer Studie von Hegge Grindem Patienten, die nach einer Operation des vorderen Kreuzbandes in den Spitzensport zurück kehrten, ein 4 mal höheres Risiko besitzen an einer erneuten Knieverletzung zu erkranken, als Patienten, die das nicht taten. Ein gezieltes Trainingsprogramm und eine ausreichend lange Rehabilitationsphase von mindestens 9 Monaten konnten die Gefahr erneuter Knieverletzungen minimieren, aber nicht eliminieren. Vor der Rückkehr in den Sport ist es wichtig, die Muskulatur des erkrankten Beines soweit zu trainieren, dass die Quadrizepsstärke mindestens 90% des gesunden Beines erreicht hat, da eine Asymmetrie in der Beinmuskulatur wiederum eine erneute Kreuzbandverletzung begünstigt (Grindem et al. 2016). Der Fokus der bisherigen Forschung zur Verletzungsprävention liegt hauptsächlich auf neuromuskulären Trainingsprogrammen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die unteren Extremitäten gelegt. Als Ursache für eine erhöhte Verletzungsempfindlichkeit der unteren Ext-

remitäten werden eine schlechte Haltungskontrolle und eine Muskelschwäche angenommen. Präventive Programme haben sich daher auf propriozeptive Trainingseinheiten mit oder ohne Verwendung von zusätzlicher Ausrüstung, wie beispielsweise Balance-Boards, und Muskelstärkungsübungen konzentriert. Diese Maßnahmen können die Verletzungsrate, insbesondere die der unteren Extremitäten durch Verbesserung der Propriozeption und der Muskelkontrolle verringern. Zudem will man gezielt problematische Bewegungsmuster abstellen und hofft auf eine Automatisierung der neu erlernten Bewegung auch unter Wettkampfbedingungen. Da diese Trainingsprogramme nur bei gewissenhafter, regelmäßiger Durchführung zum Erfolg führen, müssen die Trainer in der Lage sein, ihre Mannschaft zu deren Ausübung zu motivieren. Die Compliance der Spieler kann durch eine positive Einstellung zur Verletzungsprävention beeinflusst werden (Laver et al. 2018). Allgemein orientieren sich die Präventionsprogramme an dem von van Mechelen 1992 entworfenem Vier-Schritt Modell. Dabei wird im ersten Schritt das Verletzungsproblem identifiziert und hinsichtlich seiner Häufigkeit und Schwere beschrieben. Im zweiten Schritt werden die Risikofaktoren und Verletzungsmechanismen erfasst, um dann im dritten Schritt entsprechende Präventionsmaßnahmen zu entwickeln. Die Effizienz der vorgenommenen Maßnahmen wird dann wiederum im vierten Schritt evaluiert, indem man die Screening-Prozesse aus Schritt eins wiederholt (van Mechelen et al. 1992).

1.5. Screening-Modelle

85% der VKB-Verletzungen kommen durch eine Non-Kontakt Situation oder einem indirekten Kontakt-Verletzungsmechanismus zu Stande (VBG Ihre Gesetzliche Unfallversicherung 2015). Die meisten kontaktlosen Verletzungen des vorderen Kreuzbandes entstehen durch Landungen, Scher-manöver und schnelles Abbremsen (Simonsen et al. 2000). Dabei entstehen nach anterior gerichtete Scherkräfte der Tibia (Beynon et al. 1992, More et al. 1993). In Kombination mit einer Koaktivierung der Kniebeugermuskulatur wirkt das vordere Kreuzband diesen Kräften entgegen (Draganich et al. 1990). Während einer Finte, kommt es häufig zu Verletzungen, wenn das Knie nahezu gestreckt ist, oder wenn eine Valgusstellung des Knies in Kombination mit einer externen Rotation der Tibia vorliegt. Die medialen Kniebeu-

gemuskeln (Musculus Semitendinosus und Musculus Semimembranosus) spielen eine wichtige Rolle, um eine übermäßige Knievalgusstellung auszugleichen (Olsen et al. 2004). Der Zeitpunkt von kontaktlosen VKB-Verletzungen liegt zwischen 17 und 50 Millisekunden nach dem ersten Bodenkontakt, sodass keine mechanosensorischen Rückkopplungsmechanismen zur Vermeidung der Verletzung eintreten können. Aus diesem Grund scheint eine Voraktivierung der Kniebeugemuskulatur ein wesentlicher Aspekt in der Vermeidung von VKB-Verletzungen zu sein (Krosshaug et al. 2007). Mit Hilfe von Screeningprogrammen möchte man genau diese intrinsischen Risikofaktoren erkennen, um Hochrisikosportler identifizieren zu können und der Verletzungsgefahr bewusst vorbeugen zu können. Es existieren momentan zwei gängige Ansätze, die auf Basis von Videoaufnahmen aus der Frontal- und Sagittal-Ebene, Drop-Jumps in unterschiedlicher Ausführung bewerten können. Dazu zählt das "Landing Error Scoring System (LESS)" (Padua et al. 2009) mit 17 verschiedenen Items zur Landung nach Drop-Jumps, sowie ein Screening-Test von Jöllenbeck (Jöllenbeck et al. 2010). Im Fokus beider Verfahren stehen biomechanische Bewegungsmerkmale wie der dynamische Knievalgus/-varus, die Fußstellung, der Kniewinkel und die Oberkörperposition im Moment des Bodenkontaktes, sowie in größter Beugestellung (Jöllenbeck et al. 2010). Mit Hilfe dieser Screening-Tests lassen sich Bewegungsabläufe und vorhandene körperliche Schwachstellen von Sportlern vergleichsweise einfach analysieren. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, ein individuelles Risikoprofil für Verletzungen der unteren Extremitäten für jeden Sportler zu erstellen. Die Tests stellen ein Pre-Injury-Screening dar und dienen als prospektive Datenerfassung. Der Drop-Jump und der Side-Hop zählen zu den sogenannten Sprungtests. Diese Tests sind sehr praktikabel und werden auf Grund ihrer Nähe zum Verletzungsmechanismus als Bestandteil eines Assessment-Tools akzeptiert (VBG Ihre Gesetzliche Unfallversicherung 2015).

1.6. Der Drop-Jump

Es gibt drei verschiedene Sprungarten. Den Squat-Jump den Counter-Movement-Jump und den Drop-Jump. Der Squat-Jump ist ein Sprung, der von der Hockposition heraus ausgeführt wird. Die Beine haben nun die Aufgabe in möglichst kurzer Zeit

viel mehr Kraft als die reine Gewichtskraft aufzubringen und damit den Sportler zum Absprung zu bringen. Ziel ist es, so hoch wie möglich zu springen, jedoch ohne aktive Bewegung der Arme, welche an der Hüfte anliegen. Somit gibt es keine Ausholbewegung, keine koordinativen Elemente und auch keinen Dehnungs-Verkürzungszyklus der Muskulatur (WP1207 Springen [Institut für Sportwissenschaft]). Der Counter-Movement-Jump wird eingesetzt, um die Kraftfähigkeit der Sprungmuskulatur, die sogenannte Explosivkraft zu testen. Die Messung erfolgt durch einen Sprung aus dem Stand mit einer Ausholbewegung. Die Hände sind dabei in die Hüfte gestemmt. Die Bewegung startet mit dem Tiefgehen durch Beugen der Sprung-, Knie- und Hüftgelenke. Das Tiefgehen wird abgebremst und in eine flüssige Hochbewegung umgeleitet, in der die Sprung-, Knie- und Hüftgelenke durchgestreckt werden. Durch das Abbremsen des Tiefgehens startet der Dehnungsverkürzungszyklus der Muskulatur. Die Streckung der Gelenke erfolgt dabei so explosiv, dass der Sportler am Ende der Streckung vom Boden abhebt und eine Flugphase eingeleitet wird (WP1207 Springen [Institut für Sportwissenschaft]). Der Drop-Jump dient der Ermittlung der reaktiven Sprungkraftfähigkeit. Hierbei wird, im Gegensatz zu den beiden vorherigen Sprüngen, nicht vom Boden sondern von einer Erhöhung eingesprungen, was zu einer Verstärkung des Dehnungsverkürzungszyklus im Vergleich zum Counter-Movement-Jump führt. Nach dem erzwungenen Tiefgehen werden die Sprung-, Knie- und Hüftgelenke gestreckt und der Absprung wird eingeleitet. Das Ziel ist es, die größtmögliche Flughöhe zu erreichen (WP1207 Springen [Institut für Sportwissenschaft]). Der Drop-Jump zählt zu den sogenannten Niedersprüngen. Dadurch, dass Niedersprünge mit schnellen Richtungswechseln bei Sportspielen vergleichbar sind, wird der Drop-Jump häufig als Standardanalyse-sprung verwendet. Die Erkenntnisse über die Bewegungsqualität eines Sportlers, die aus der Analyse des Drop-Jumps gewonnen werden, werden dann auf die Bewegungsabläufe innerhalb eines Handballspiels übertragen. Bei den Niedersprüngen steht das schnelle Abfangen des eigenen Körpergewichts im Vordergrund, wodurch vor allem die Schnellkraft und die Reaktivkraft beansprucht werden. Die Reaktivkraft beschreibt die Fähigkeit Gewichte, bzw. den eigenen Körper schnellkräftig abzu-bremsen und in die Gegenrichtung zu beschleunigen. Diese Fähigkeit spielt auch in vielen Sportspielen eine große Rolle. Auf muskelphysiologischer Ebene werden bei diesen Sprüngen vor allem Momente des Dehnungsverkürzungszyklus und der elastischen Komponente der Muskulatur ausgenutzt. Spätere Agonisten (Musculus

quadrizeps femoris und Musculus gastrocnemius) werden durch den Niederhocksprung gedehnt. Die Muskelspindeln lösen einen Dehnungsreflex aus, der zu einer vermehrten Innervation von ansonsten nicht aktivierten Muskelfasern führt. Dadurch kann eine höhere und schnellere Kraftentwicklung bei der anschließenden Muskelkontraktion entstehen. Zusätzlich wird beim plyometrischen Training auch noch die elastische Komponente des Muskels als Energiespeicher ausgenutzt. Durch die Dehnung der elastischen Komponente kommt es zur Speicherung von kinetischer Energie, die dann, in der Folge der durch Muskelkontraktion erzeugter Energie, hinzugefügt werden kann. Ein vermehrtes Wiederholen dieses Sprungtraining kann die intramuskuläre Koordination verbessern und führt zu einem raschen Kraftgewinn ohne Muskelmassen- bzw. Körpergewichtszunahme. Außerdem verhilft sie auch hochgradig austrainierten Sportlern zu einer Steigerung der Reaktiv- und Schnellkraft. Durch die hochgradige Dynamik erhöht es zusätzlich die "Stiffness" durch Vermehrung von bindegewebigen Strukturen, wie z.B. der Titin- und Nebulinfilamente (Weineck 1996 und Weineck 2010). Mit Hilfe der Analyse des Drop-Jumps anhand des Landing Error Scoring System soll untersucht werden, ob Zusammenhänge zwischen der Bewegungsqualität eines Sportlers und dem erhöhtem Risiko, an einer Verletzung des vorderen Kreuzbandes zu erkranken, bestehen. Verschiedene Studien zu diesem Thema kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während die 2009 von Padua et al veröffentlichte Studie den LESS als geeignetes Instrument zur Risikobewertung von vorderen Kreuzbandverletzungen bewertet (Padua et al. 2009), äußern sich Forscher des Osloer Sporttraumaforschungszentrums skeptisch. Ihrer Meinung nach, ist die Spezifität und Sensitivität zur Vorhersage von vorderen Kreuzbandverletzungen anhand von verschiedenen biomechanischen Bewegungsmerkmalen nicht aussagekräftig genug (Krosshaug et al. 2016).

1.7. Der Side-Hop

Der Side-Hop zählt zu den sogenannten Einbeinsprüngen und wird daher der Kategorie der natürlichen Plyometrie zugeordnet. Dabei handelt es sich um Sprünge ohne Zusatzlasten oder Zusatzgeräte (Weineck 1996). Genau wie beim Drop-Jump wird auch während des Side-Hops ein Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus ausgelöst. Anders

als beim Drop-Jump, bei dem es sich um eine ausgeprägte Plyometrie handelt, findet beim Side-Hop der Dehnungsverkürzungszyklus in geringerem Ausmaß statt. Grund hierfür ist die verringerte Niedersprunghöhe, welche zu einer weniger ausgeprägten Spannungsentwicklung in der Streckmuskulatur führt. Durch die seitlich gerichtete Bewegung beim Side-Hop muss die gesamte Bein- und Hüftgelenksmuskulatur nicht nur vertikal sondern auch horizontal wirkende Kräfte abfangen und in die Gegenrichtung beschleunigen. Dies führt wiederum zur Innervation von motorischen Einheiten, die bei rein vertikalen Bewegungen, wie dem Drop-Jump, nicht beansprucht werden. Aufgrund der Mehrdimensionalität der Bewegung, liegt beim Side-Hop ein komplexeres Beanspruchungsprofil der Hüft-, Knie- und Sprunggelenk stabilisierenden Muskulatur vor. Genauere Abläufe auf muskelphysiologischer Ebene während des Side-Hops werden in der Fachliteratur nicht beschrieben. Da der Side-Hop im Gegensatz zum Drop-Jump einbeinige Landungen oder schnelle Richtungswechsel besser simulieren kann, haben wir ihn zusätzlich in unser Analyseprogramm mit aufgenommen. Die unten angeführte Abbildung verdeutlicht die komplexe Bewegung des Side-Hops und stellt die sowohl vertikal als auch horizontal einwirkenden Kräfte auf die Tragsäule Bein dar.



Abbildung 4: weibliche Probandin, während der Ausführung des Side-Hops

1.8. Ziel der Studie

Das Ziel dieser prospektiven Kohortenstudie ist es, herauszufinden, ob anhand des Landing Error Scoring System eine zuverlässige Aussage über das Verletzungsrisiko eines vorderen Kreuzbandrisses bei Elite-Jugend-Handballspielern gemacht werden kann. Lande- und Sidecutting- Manöver wurden durch den Drop-Jump und den Side-Hop simuliert und mit Hilfe von Videos ausgewertet und analysiert. Ausgehend von bereits vorliegenden Forschungsergebnissen, erwarten wir, dass weibliche Probanden andere biomechanische Bewegungsmuster, bezogen auf das Kniegelenk, zeigen werden als männliche Testpersonen. Außerdem gehen wir davon aus, dass ein erhöhter Knievalguswinkel und eine steife Landung ein Anzeichen für ein erhöhtes Risiko ist, eine Kreuzbandverletzung zu erleiden (Hewett et al. 2005, Leppänen et al. 2017).

2. Material und Methoden

2.1. Studienteilnehmer

Um ein repräsentatives Probandenkollektiv zu erhalten, testeten wir an Testort 1, 140 Auswahlspieler im Alter von 15 Jahren, wobei die Hälfte der Probanden (n=70) weiblich und die andere Hälfte männlich war. Auswahlmannschaften 5 verschiedener Landesverbände trafen im Zuge unserer Testungen aufeinander, um sich über 5 Tage in verschiedenen handballspezifischen Vergleichswettkämpfen zu messen. Neben dem zentralen Handballturnier stehen Grundspiele im 4:4 und 6:5, Technik- und Taktiküberprüfungen, ein Leichtathletik-Mehrkampf, Koordinationstests, turnerische Fähigkeiten und zusätzliche Maßnahmen wie Großfeld- und Beachhandball auf dem Programm. Für die Spieler dient diese Veranstaltung als erste Standortbestimmung für die DHB-Sichtung, die im Frühling des Folgejahres stattfindet. Zusätzlich zu den Spielern aus Testort 1, erhielten wir die Möglichkeit 22 weibliche und 20 männliche Spieler im Alter von 14 Jahren im Zuge eines Trainingslehrgangs an Testort 2 zu testen. Diese Trainingslehrgänge werden vom bayerischen Landesverband der Handballer für die besten Nachwuchsspieler der jeweiligen Altersgruppen aus bayerischen Handballvereinen organisiert. Um die Leistungen der jungen Handballspieler mit de-

nen ihrer älteren Konkurrenten vergleichen zu können, testeten wir zusätzlich 4 männliche und 16 weibliche Probanden im Alter zwischen 15 und 18 Jahren. Diese Spieler spielen zum größten Teil in der Jugendbundesliga und befinden sich schon über einen längeren Zeitraum in professionellem Training und zeigen deshalb möglicherweise stärker ausgeprägte, sportartspezifische neuromuskuläre Adaptationen. Die Tests wurden in einer Turnhalle an Testort 3, isoliert und unabhängig vom Training durchgeführt. Insgesamt nahmen 202 Probanden an unserer Studie teil. In der folgenden Abbildung und dem Diagramm wird die Zusammensetzung der Studienteilnehmer noch einmal übersichtlich dargestellt.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Studienteilnehmer

Testort	Landesverband	männlich	Weiblich	Alter
Testort 1	Landeskader 3	14	14	15,0
Testort 1	Landeskader 4	14	14	15,0
Testort 1	Landeskader 5	14	14	15,0
Testort 1	Landeskader 6	14	14	15,0
Testort 1	Landeskader 7	14	14	15,0
Testort 2	Landeskader 1	20	22	14,0
Testort 3	Landeskader 2	4	16	15-18

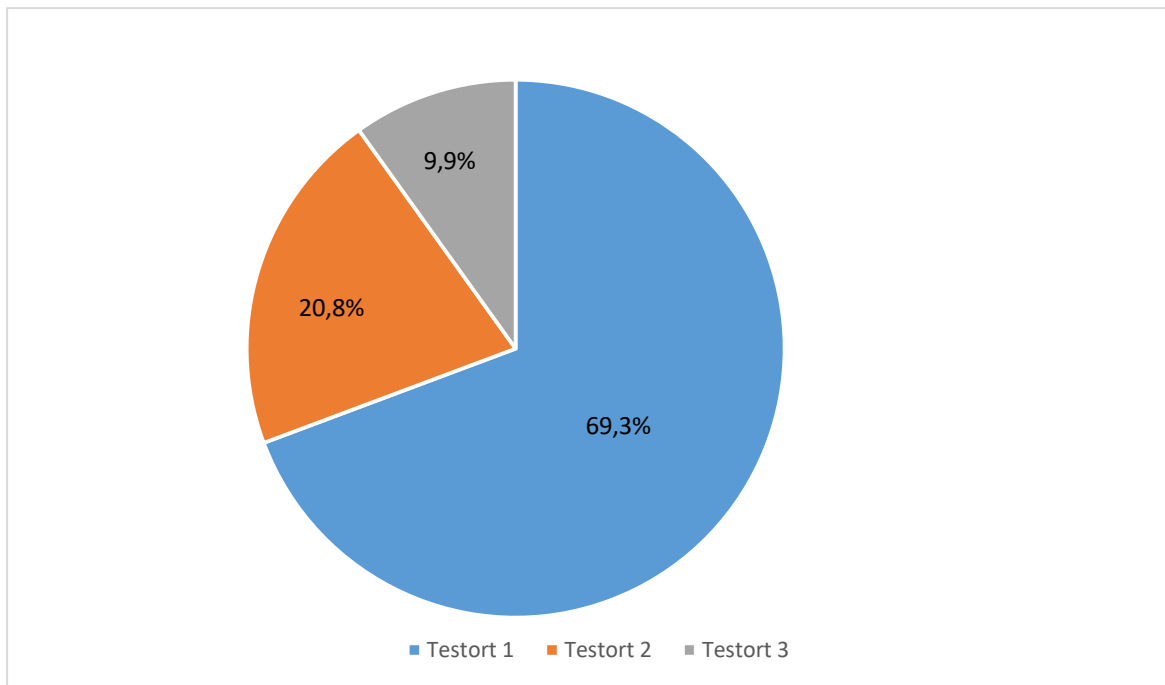


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Teilnehmer auf die verschiedenen Testorte

2.2. Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien

Um die Handballspezifität der Studie bereits im Jugendalter gewährleisten zu können, wurden für diese Tests bewusst nur die Elite-Jugend-Handballspieler der jeweiligen Landesverbände berücksichtigt, um gezielt sportartspezifische Adaptationen im morphologischen und funktionellen Bereich voraussetzen zu können, welche bei Hobbysportlern nicht ausgeprägt sind. Die Einschlusskriterien sehen demnach folgendermaßen aus:

- * Die Probanden müssen zum Zeitpunkt der Studie Elite-Spieler eines Landesverbandes sein, das heißt, sie müssen zu den besten Spielern ihres jeweiligen Jahrgangs gehören, also entweder Auswahlspieler oder Bundesligaspieler sein
- * Sie müssen an den Screening-Tests teilgenommen haben und entweder beide Tests, oder zumindest entweder den Drop-Jump oder den Side-Hop absolviert haben
- * Sie müssen regelmäßig am Training und an Wettkämpfen teilnehmen
- * Sie müssen die ihnen übermittelten Fragebögen zuverlässig ausfüllen und Aus-

kunft über auftretende Verletzungen geben, wobei bei den unter 18 jährigen Teilnehmern auf eine Einverständniserklärung der Eltern zu achten ist.

- * Erfüllen die Spieler, die oben genannten Kriterien nicht, werden sie von der Studie ausgeschlossen

2.3. Studiendesign

Die motorischen Tests wurden alle vor Beginn der Meisterschaftsrunde 2016/2017 durchgeführt. Während der Saison und der darauf folgenden Vorbereitungsperiode wurden die Spieler mit Hilfe von Online-Fragebögen begleitet, in denen sie Angaben bezüglich aufgetretener Verletzungen im Training oder Wettkampf gaben. Die Studiendauer belief sich daher von August 2016 bis April 2017.

2.4. Testdurchführung

Bei den motorischen Tests in Tailfingen wurden in einer separaten Turnhalle drei identische Teststationen aufgebaut. Diese Teststationen enthielten alle das OptoJump Next System. OptoJump Next ist ein optisches Messinstrument, bestehend aus einem sendenden und einem empfangenden Messstab. Dabei bestehen die einzelnen Messstäbe aus 96 LEDs mit einem Auflösungsvermögen von 1.0416 cm. Die LEDs des Senders kommunizieren ständig mit denen des Empfängers und können somit etwaige Unterbrechungen erkennen und deren Dauer berechnen. Dadurch können sie in einer Serie von Sprüngen die jeweilige Kontakt- und Flugzeit auf eine tausendstel Sekunde genau messen. Das System ermöglicht es, Aussagen über die Bodenkontaktzeit, die Flugzeit, die Sprunghöhe und den Reaktivindex (wird berechnet aus Sprunghöhe/Bodenkontaktzeit) eines jeden Sportlers zu treffen. Verbunden wird dieses System mit der zugehörigen Software, die kostenlos als Download zur Verfügung steht. In Kombination mit zwei kleinen, frei aufstellbaren Kameras können während des Tests Videoaufnahmen angefertigt werden, die dann mit den durchgeführten Messungen synchronisiert werden.



Abbildung 6: Optojump Next System (Optojump Next - Was ist Optojump)

Dabei wurden die Teststationen so konzipiert, dass Drop-Jump und Side-Hop problemlos nacheinander durchgeführt werden konnten, ohne dass Umbauarbeiten notwendig wurden. Zur Durchführung des Drop-Jumps wurde ein 30 cm hohes Podest an die Stirnseite der Lichtschranken gestellt. Parallel dazu wurde in einem Abstand von 80 cm eine Bodenmarkierung mit Klebeband angebracht, welche den Sportlern später als Orientierungshilfe bei ihren Sprüngen dienen sollte. Zur Beurteilung der Side-Hops benötigten wir noch zwei Längsmarkierungen, die in einem Abstand von 30 cm mittig zwischen den Lichtschranken positioniert wurden. Die beiden Kameras wurden so platziert, dass Knievalgus/-varus, die Achsenstellung der Füße und der Hüftknickungswinkel zu jedem Zeitpunkt der Bewegungsausführung sowohl in der sagittalen als auch in der frontalen Ansicht beurteilbar waren.



Abbildung 7: Laterale Ansicht auf die Teststation

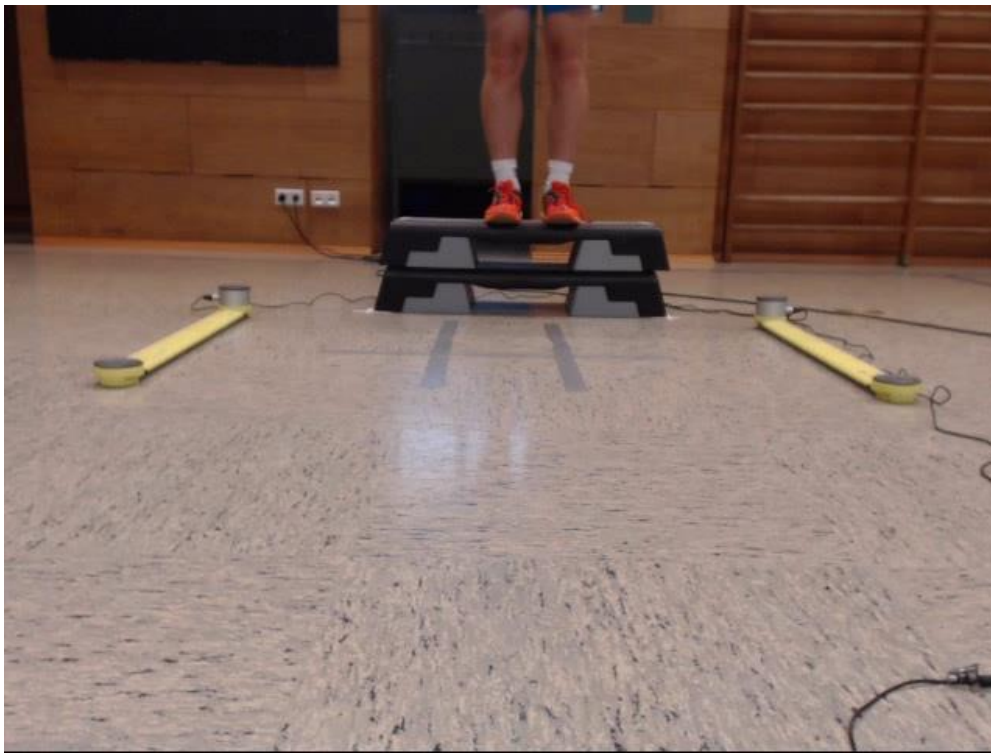


Abbildung 8: Frontale Ansicht auf die Teststation

Die Tests fanden integriert in das vorgegebene Tagesprogramm an Testort 1 statt. Die Teilnehmer erhielten einen Zeitplan, wann die jeweilige Mannschaft zur Testung erscheinen sollte. Dadurch wurden unnötige Wartezeiten vermieden. Die Mannschaften kamen nacheinander in die Turnhalle. Zu Beginn führte jede Mannschaft eigenständig ein vorgegebenes Aufwärmprogramm durch. Im Anschluss wurden jeder Mannschaft die gewünschten Übungen vorgeführt und auf wichtige Kriterien der Ausführung hingewiesen. Daraufhin verteilten sich die Spieler auf die 3 Teststationen und führten zuerst jeweils 5 Drop-Jumps und danach jeweils zwei Testserien von Side-Hops mit dem linken und zwei Testserien von Side-Hops mit dem rechten Bein durch, bevor der nächste Spieler an die Reihe kam. Die Spieler trugen alle Hallenturnschuhe und Sportbekleidung, bei der darauf geachtet wurde, dass die Sporthosen kurz genug waren, um die Stellung des Knies gut beurteilen zu können. Die Trikots sollten im Hosenbund fixiert sein, um die Hüftbeugung analysieren zu können. Der Testablauf an Testort 2 und Testort 3 lief vom Aufbau her analog ab, mit der Ausnahme, dass statt dem OptoJump Next System das OptoGait System verwendet wurde. Beide Systeme wurden von der selben Firma entwickelt und arbeiten auf gleicher technischer Basis und können deshalb als identisch betrachtet werden. Aufgrund der geringeren Teilnehmerzahlen an diesen beiden Testorten wurde jeweils nur eine Teststation aufgebaut. Die Testdurchführung der Spieler an Testort 3, sowie die der männlichen Spieler an Testort 2, fand ebenso wie die Tests an Testort 1 auf Hallenboden statt, während die Tests der Spielerinnen an Testort 2 auf Grund räumlicher Probleme in einem Sitzungsraum auf Teppichboden durchgeführt werden mussten. Die beiden getesteten Mannschaften an Testort 2 absolvierten sowohl 5 Drop-Jumps als auch die insgesamt vier Serien an Side-Hops (zwei pro Bein), während die Spieler aus Testort 3 nur jeweils 5 Drop-Jumps durchführten. In den abgegrenzten Testbereichen hielten sich immer zwischen drei und vier Sportler auf, denen der genaue Bewegungsablauf demonstriert und erklärt wurde.

2.4.1. Der Drop-Jump

Als Ausgangssituation stehen die Sportler in neutraler Fußposition (schulterbreite Fußstellung, Zehen zeigen nach vorn) auf der Erhöhung. Ausgehend von dieser Po-

sition sollten die Sportler den Niedersprung mit einem Schritt nach vorne in Richtung der Quermarkierung einleiten. Nach dem beidbeinigen, initialen Bodenkontakt, soll die Testperson direkt im Anschluss wieder explosiv und so hoch wie möglich abspringen. Die Teilnehmer werden instruiert die Bodenkontaktzeit so kurz wie möglich zu halten. Die nachfolgende Landung sollte ebenfalls beidbeinig mit einer stabilen Beinachse und in neutraler Fußposition erfolgen (VBG Ihre Gesetzliche Unfallversicherung 2015). Die Ausführung wurde von dem jeweilig zuständigen Betreuer der Teststation kontrolliert. Im Normalfall wurden fünf Drop-Jumps durchgeführt. Konnten auf Grund mangelhafter Ausführung keine gültigen drei Sprünge verzeichnet werden, musste der Sportler die Übung wiederholen.

2.4.2. Der Side-Hop

Im Anschluss an die absolvierten Drop-Jumps folgte der Side-Hop. Die vorgegebene Aufgabe war das Überspringen der 30cm breiten Gasse in der Mitte der beiden Lichtschranken mit einem Bein. Dazu musste der Sportler parallel zu der Markierung im Einbeinstand stehen und zuerst mit dem linken Bein 20 Mal in schnellstmöglicher Zeit die Gasse überspringen und dann mit dem rechten Bein. Pro Bein wurden zwei Sprungserien mit jeweils 20 Sprüngen verlangt. Die Spieler wurden instruiert, dabei die Quermarkierungen auch wirklich zu überspringen, um einen gültigen Versuch zu erhalten. Wichtig bei der Ausführung war außerdem, dass die Probanden während der Sprünge beide Arme an ihrer Hüfte abstützen, um dadurch die Beeinflussung der Stabilität der Beinachse durch ausgleichende Bewegungen der Arme zu verringern. Diese Sprungtests dienen zum einen der Ermittlung der maximalen Sprungfrequenz der Sportler, zum anderen bietet sich aber auch hier ähnlich wie beim Drop Jump eine Analyse der Zehenlandung, der Platzierung des Fußes, der Oberkörperhaltung und der damit verbundenen Abduktionsbelastung im Knie an.

2.5. Auswertung Drop-Jump und Side-Hop

Zur Analyse der Drop-Jumps verwenden wir das Landing Error Scoring System (LESS), welches es ermöglicht modifizierbare Faktoren, die beispielsweise das Risiko von vorderen Kreuzbandverletzungen oder anderen schwerwiegenden Verletzungen der unteren Extremitäten beeinflussen, zu erkennen. Betrachtet man die Bewegung in der Sagittal- und Transversalebene können ein verminderter Knieflexionswinkel, eine erhöhte anteriore Scherkraft auf das Schienbein, ein verringerter Hüftbeugewinkel, eine erhöhte Innenrotation der Hüfte und ein erhöhter Knievalgus im Laufe von dynamischen Bewegungen einen Einfluss auf den Grad der Belastung des vorderen Kreuzbandes nehmen. Das LESS ermöglicht es kostengünstig, risikoreiche Bewegungsmuster während eines Sprunglandemanövers zu ermitteln. Das LESS basiert auf einem Punktesystem, bei dem Fehler, die während einer Landungstechnik auftreten, aufgerechnet werden. Das heißt ein höherer LESS-Wert weist auf eine schlechtere Sprunglandungstechnik hin als ein niedrigerer Wert. Es gibt 17 Punkte die bewertet werden. Dabei stehen zum einem die Position der unteren Extremitäten und des Rumpfes zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontaktes im Fokus, zum anderen wird die Stellung der Füße beim ersten Bodenkontakt, zu dem Zeitpunkt, an dem der ganze Fuß Kontakt mit dem Boden hat, und in der Zeit zwischen dem Anfangskontakt und der maximalen Knieflexion gewertet. In einem dritten Teilbereich werden Bewegungen des Rumpfes und der unteren Extremitäten im Zeitraum zwischen dem initialen Bodenkontakt und der maximalen Knieflexion analysiert. Zum Schluss gibt es noch zwei Punkte, die die subjektive Beurteilung der Qualität der Landung in der Sagittalebene beschreiben. Die Bewertungspunkte beinhalten sowohl eine Analyse aus frontaler als auch aus transversaler Sicht. Wir führten die gesamte Bewertung sowohl für das linke, als auch für das rechte Bein durch. Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Bewertungspunkten des Landing Error Scoring Systems haben wir noch die genauen Winkel und Kniegelenksstellungen zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt. Diese Analyse stellt eine Ergänzung zu den Ergebnissen aus dem Landing-Error-Scoring-System dar und wurde in der Literatur bis jetzt noch nicht beschrieben. Wir haben den Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontakts, sowie zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion gemessen. Außerdem wurden die Knievalgus- bzw Knievaruswinkel in diesen Momenten aus frontaler Sicht ermittelt. Aus den gewonnenen Ergebnissen wird dann die Stabilität der Beinachse während

des Sprungablaufes ermittelt. Die Auswertung der Videos erfolgte mit dem Programm Kinovea 0.8.15. Dabei handelt es sich um ein Videoprogramm, das es ermöglicht, anatomische Punkte genau zu ermitteln und diese dann mit Linien und Winkeln auszumessen, Screenshots zu erstellen und das Video in verschiedenen Geschwindigkeiten wieder zu geben. Dadurch bietet es eine optimale Grundlage zur Beurteilung von Bewegungen mit Hilfe des Landing Error Scoring System. Aufgrund der LESS-Punktzahl können die Bewegungen wie folgt eingeteilt werden:

- * hervorragende Technik: Punktzahl unter 4
- * gute Technik: Punktzahl zwischen 4 und 5
- * moderate Technik: Punktzahl zwischen 5 und 6
- * schlechte Technik: Punktzahl größer 6

(Padua et al. 2015)

Tabelle 2a: Bewertungsbogen angelehnt an das Landing Error Scoring System

Ansicht	Beschreibung	Punkte
Lateral	Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt	> 30 °: 0 Punkte < 30° : 1 Punkt
Lateral	Hüftbeugung bei initialem Bodenkontakt	- Ja: 0 Punkte - Nein: 1 Punkt
Lateral	Rumpf gebeugt bei initialem Bodenkontakt	- Ja: 0 Punkte - Nein: 1 Punkt
Lateral	Testfuß setzt bei initialem Bodenkontakt von der Zehe zur Ferse auf	- Ja: 0 Punkte - Nein: 1 Punkt
Lateral	Maximale , dynamische Knieflexion	> 45° : 0 Punkte < 45° : 1 Punkt
Lateral	Hüftflexion bei maximaler Knieflexion ist größer als initiale Hüftflexion	- Ja: 0 Punkte - Nein: 1 Punkt
Lateral	Rumpfflexion bei maximaler Knieflexion ist stärker als initiale Rumpfflexion	- Ja: 0 Punkte - Nein: 1 Punkt
Lateral	Summe der dynamischen Knie und Hüftwinkel gemessen vom Initialkontakt bis zur maximalen Knieflexion	- groß: 0 Punkte - durchschnittlich : 1Punkt - gering : 2 Punkte
Frontal	Patella- Senkrechte bei Initialkontakt medial des Mittelfußes	- Ja : 1 Punkt - Nein: 0 Punkte
Frontal	Mittellinie des Körpers bei Initialkontakt seitlich gebeugt	- Ja : 1 Punkt - Nein : 0 Punkte

Frontal	Schulter-Fersenlinie innerhalb des Mittelfußes bei Initialkontakt	- Ja : 1 Punkt - Nein : 0 Punkte
Frontal	Schulter-Fersenlinie außerhalb des Mittelfußes bei Initialkontakt	- Ja : 1 Punkt - Nein : 0 Punkte
Frontal	Fuß > 30° innenrotiert bei Initialkontakt	- Ja : 1 Punkt - Nein : 0 Punkte
Frontal	Fuß > 30° außenrotiert bei Initialkontakt	- Ja : 1 Punkt - Nein : 0 Punkte
Frontal	Füße setzen bei Initialkontakt symmetrisch und zeitgleich auf	- Ja : 0 Punkte - Nein : 1 Punkt
Frontal	Patellaskreuzkreuz bei maximaler Knieflexion medial oder durch die Großzehe	- Ja : 1 Punkt - Nein : 0 Punkte
Lateral /Frontal	Gesamteindruck	- Weiche Landung: 0 Punkte - durchschnittl. Landung: 1 Punkt - steife Landung : 2 Punkte

Tabelle 2b: Weitere Bewertungspunkte des Drop-Jumps, die so in der Literatur noch nicht beschrieben wurden

Ansicht	Beschreibung	Winkelangabe
Lateral	Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt	Genauer Wert
Lateral	Knieflexionswinkel bei maximaler Knieflexion	Genauer Wert
Frontal	Knievalgus-/ Knievaruswinkel bei initialem Bodenkontakt	Genauer Wert
Frontal	Knievalgus-/Knievaruswinkel bei maximaler Knieflexion	Genauer Wert
Frontal	Stabilität der Beinachse während der Bewegung	Differenz aus Winkel zum Zeitpunkt des initialen Kontakts und der maximalen Knieflexion

Zur Bewertung der Side-Hops verwendeten wir ebenfalls das Landing Error Scoring System, allerdings in modifizierter Form. Aus transversaler Sicht betrachten wir das Aufsetzen des Fußes. Aus frontaler Sicht wird die Innen- bzw. Außenrotation des Fußes, die Position der Hände während des Sprungablaufes und der Knievalguskollaps bewertet. Der allgemeine Eindruck der Qualität der Bewegungsausführung wird in der frontalen und transversalen Ansicht analysiert. Dadurch ergibt sich eine Beurteilungstabelle mit 6 verschiedenen Items zur Analyse der Side-Hop-Bewegung. Genau wie beim Drop-Jump werden auch beim Side-Hop wieder die genauen Knieflexionswinkel aus transversaler Sicht sowie Knievarus- und Knievalguswinkel aus sagittaler Sicht zu den verschiedenen Zeitpunkten ermittelt. Daraus kann dann auch wieder die Stabilität der Beinachse abgeleitet werden. Diese Variante der Analyse des Side-Hops wurde in der Literatur bisher noch nicht beschrieben und stellt deshalb einen Analyseansatz dar.

Tabelle 3a: Modifizierte Form des Landing Error Scoring System zur Bewertung der Side-Hops

Ansicht	Beschreibung	Punkte
Seitlich	Testfuß setzt von Zehen zur Ferse auf und kein Plattfuß	- ja: 0 Punkte - nein: 1 Punkt
Frontal	Fuß > 30 ° innenrotiert	- ja: 1 Punkt - nein: 0 Punkte
Frontal	Fuß > 30° außenrotiert	- ja: 1 Punkt - nein: 0 Punkte
Frontal	Position der Hände an den Hüften stabil?	- ja : 0 Punkte - nein : 1 Punkt
Frontal	Knievalguskollaps	- Valgus, aber stabil : 0 Punkte - Kompletter Kollaps mit Stabilisation durch anderes Bein 1 Punkt
Seitlich / Frontal	Allgemeiner Eindruck über die Qualität der Bewegungsausführung	- gut: 0 Punkte - schlecht: 1 Punkt

Tabelle 3b: weitere Bewertungspunkte des Side-Hops

Ansicht	Beschreibung	Winkelangabe
Lateral	Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt	Genauer Wert
Lateral	Knieflexionswinkel, wenn der ganze Fuß den Boden berührt	Genauer Wert
Frontal	Knievalgus-/ Knievaruswinkel bei initialem Bodenkontakt	Genauer Wert
Frontal	Knievalgus-/Knievaruswinkel wenn der ganze Fuß den Boden berührt	Genauer Wert
Frontal	Stabilität der Beinachse während der Bewegung	Differenz aus Winkel zum Zeitpunkt des initialen Kontakts und der maximalen Knieflexion

Zur Bewertung der Side-Hops wurden die jeweils 2 schlechtesten Sprünge pro Bein ausgewählt und bewertet. Die Analyse erfolgte, ebenso wie bei den Drop-Jumps, mit dem Video-Programm Kinovea.

2.6. Die Fragebögen

Zusätzlich zu der biomechanischen Bewertung der Bewegungsabläufe stimmten die Probanden der Studie zu, uns mittels Fragebögen Auskunft über möglicherweise auftretende Verletzungen während des Trainings oder eines Wettkampfes zu geben. Dabei wurden die Spieler aus Testort 3 über einen Zeitraum von 2 Jahren und die Landesauswahlspieler aus Testort 1 und 2 über 1 Jahr begleitet. Es handelt sich um verschiedene Fragebögen, die unterschiedliche Themenbereiche abdecken. Die

Fragebögen beschäftigen sich mit persönlichen Daten wie dem Alter, der Größe und dem Gewicht der einzelnen Spieler. Außerdem werden die Anzahl, die Art und der Zeitpunkt von möglicherweise aufgetretenen Knieverletzungen abgefragt. Die Fragebögen wurden dabei an internationale Standards mit dem Fokus auf VKB-Verletzungen angelehnt (Fuller et al 2006).

2.7. Ethikvotum

Diese Studie erhielt die Genehmigung der Ethikkommission der Universität Regensburg (ID 17-895-101).

2.8. Statistische Auswertung

Angelehnt an die Fragestellung dieser Studie wurden die notwendigen Daten aus den Ergebnissen der Fragebögen und den motorischen Tests aller Sportler ausgewertet. Änderungen des Knieflexionswinkels und des Knievalguswinkels wurden durch Subtraktion des Knievalgus-/Knieflexionswinkels bei maximaler Knieflexion vom Knievalgus-/Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt berechnet. Eine stabile Beinachse wurde als ein Differenzwert von 0° definiert. Kontinuierliche Daten werden mit Mittelwerten und Standardabweichungen (SD) beschrieben und kategoriale Daten werden als Prozentsätze ausgedrückt. Mittels logistischer Regressionsmodelle wurde nach Verletzungsrisikofaktoren gesucht und die Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern analysiert. Odds Ratio (OR) und entsprechende 95% Confidence Intervalle (CI) werden aufgelistet. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgesetzt. Ergebnisse bei denen $p < 0,01$ ist, gelten als hochsignifikant. Alle Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics, Version 24 und Microsoft Excel durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1. Anthropometrische Daten

Tabelle 4: Übersicht über die anthropometrischen Daten der Spieler

	Männliche Probanden n= 94	Weibliche Probanden n=108
Alter in Jahren	14,9 ± 0,6	15,3 ± 0,9
Größe in cm	180,1 ± 0,1	167,3 ± 0,9
Gewicht in kg	73,1 ± 9,9	59,6 ± 7,6

In Tabelle 4 werden die personenbezogenen Daten, wie Alter, Körpergröße und Körpergewicht der Testpersonen dargestellt. Das durchschnittliche Alter der männlichen Testpersonen lag bei einem Mittelwert von 14,9 Jahren mit einer Standardabweichung von $\pm 0,6$ Jahren. Der älteste Sportler war 18 Jahre und der jüngste 14 Jahre alt. Die Sportlerinnen waren im Durchschnitt 15,2 Jahre alt, bei einer Standardabweichung von $\pm 0,9$ Jahren. Auch hier waren die älteste getestete Spielerin 18 Jahre und die Jüngste 14 Jahre alt. Die männlichen Probanden hatten eine durchschnittliche Größe von 180,1 cm bei einer Standardabweichung von $\pm 0,1$ cm. Der größte Spieler war 194 cm, der kleinste 165 cm groß. Bei den getesteten Spielerinnen ergab sich im Mittelwert eine Größe von 167,3 cm (SD $\pm 0,9$ cm). Die größte Spielerin war 186 cm groß. Die kleinste maß 153 cm. Für das Gewicht ergab sich für die männlichen Handballer ein Durchschnitt von 73,1 kg (SD $\pm 9,9$ kg), wobei der leichteste Spieler 54,9 kg schwer war und das Gewicht des schwersten 105,5 kg betrug. Bei den Sportlerinnen errechneten wir ein mittleres Körpergewicht von 59,6 kg bei einer Standardabweichung von $\pm 7,6$ kg. Die leichteste Spielerin wog 40,6 kg, während das Gewicht der schwersten Spielerin 80,3 kg betrug. Die oben beschriebenen Daten wurden uns von den Testpersonen mittels Fragebogen zur Verfügung gestellt.

3.2. Der Drop-Jump

Wir konnten auf Grund von technischen Problemen oder verletzungsbedingtem Ausfall der Spieler insgesamt bei 178 der 202 angetretenen Sportler den Drop-Jump registrieren und auswerten. 176 Probanden absolvierten jeweils 3 Sprünge. Bei zwei weiblichen Testpersonen konnten nur zwei Sprünge registriert werden. Daraus ergaben sich am Ende 532 absolvierte Sprünge. Dabei waren 86 der Sportler männlich und 92 weiblich.

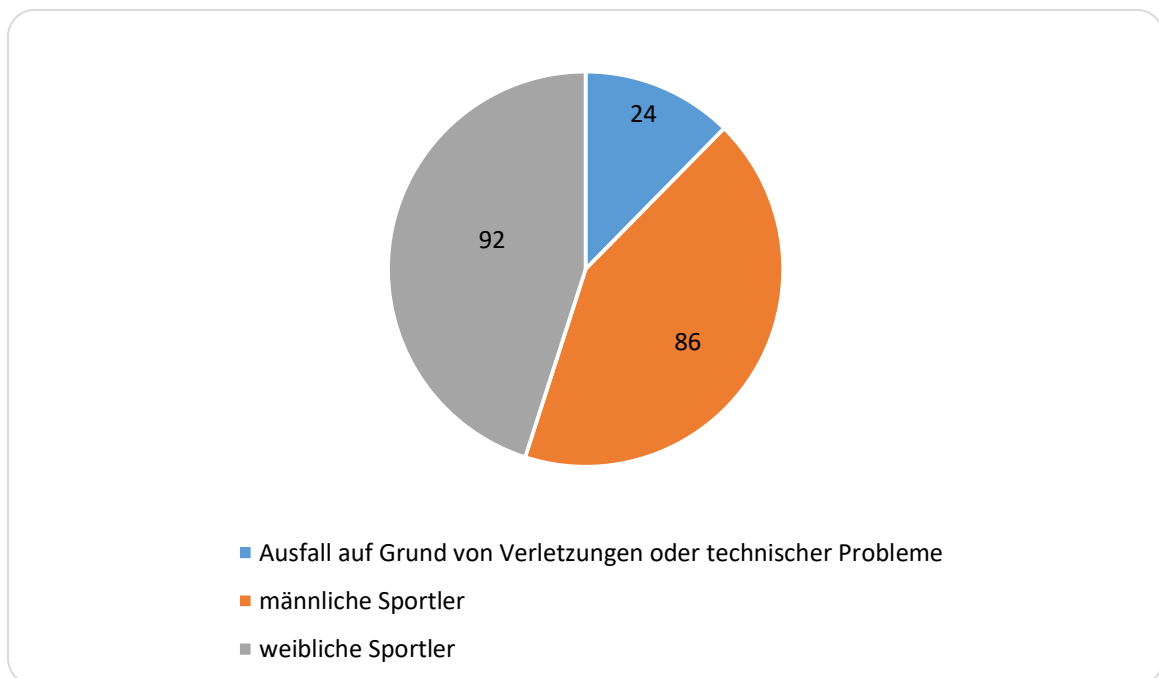


Abbildung 9: Verteilung der Sprünge auf die einzelnen Sportler

3.2.1. Gesamt-LESS-Scores

Bei den LESS-Scores betrachteten wir die Ergebnisse der männlichen und weiblichen Spieler zuerst separat, um sie dann im Anschluss miteinander zu vergleichen.

3.2.1.1. LESS-Score männlicher Testpersonen

Wir werteten die Sprünge von insgesamt 86 Sportlern aus, die jeweils 3 Sprünge absolvierten ($n = 258$). Die männlichen Probanden erzielten einen durchschnittlichen

LESS-Score von 4,3 für das rechte und 4,2 für das linke Bein. Die LESS-Scores für die einzelnen Mannschaften sehen dabei wie folgt aus:

Tabelle 5: Übersicht über die LESS-Scores der verschiedenen Mannschaften

Mannschaft	Less-Score links (männlich)	Less-Score rechts (männlich)	Less-Score ge- samt linkes und rechtes Bein
Landeskader 1 n= 60	4,4 ± 1,3	4,5 ± 1,5	8,9 ± 2,6
Landeskader 2 n= 12	3 ± 1,1	3,1 ± 1	6,1 ± 2,1
Landeskader 3 n= 39	4,3 ± 2	4,3 ± 1,7	8,6 ± 3,6
Landeskader 4 n= 33	4,2 ± 1,5	4,5 ± 1,4	8,7 ± 2,8
Landeskader 5 n= 39	4,2 ± 1,8	4,4 ± 1,9	8,6 ± 3,6
Landeskader 6 n= 39	4,1 ± 1,1	4,3 ± 1,1	8,4 ± 2,1
Landeskader 7 n= 36	4,1 ± 1,3	3,9 ± 1,3	8,1 ± 2,4
Alle männlichen und weiblichen Probanden	4,4 ± 1,4	4,6 ± 1,5	9,1 ± 2,7

Sowohl beim rechten als auch beim linken Bein erzielten die Auswahlspieler aus dem Landeskader 1, die schlechtesten Ergebnisse. An erster Stelle rangierten die Spieler aus Landeskader 2.

3.2.1.2. LESS-Score weiblicher Spieler

90 der 92 weiblichen Probanden absolvierten ebenfalls 3 Sprünge. Bei zwei Sportlerinnen konnten nur zwei Sprünge registriert werden. Daraus ergibt sich eine Gesamtzahl von 274 zu bewertenden Sprüngen ($n=274$). Die Spielerinnen erzielten durchschnittliche LESS-Scores von 4,6 für das linke und 5,0 für das rechte Bein. Die LESS-Werte für die einzelnen Mannschaften sehen wie folgt aus.

Tabelle 6: Übersicht über die Less-Scores der verschiedenen Mannschaften

Mannschaft	Less-Score links (weiblich)	Less-Score rechts (weiblich)	Less-Score ge- samt linkes und rechtes Bein
Landeskader 1 $n= 58$	$4,4 \pm 1,5$	$4,9 \pm 1,5$	$9,2 \pm 2,8$
Landeskader 2 $n= 45$	$4,4 \pm 1,2$	$4,9 \pm 1,2$	$9,3 \pm 2,3$
Landeskader 3 $n= 36$	$4,7 \pm 1,2$	$5,1 \pm 1,5$	$10 \pm 2,5$
Landeskader 4 $n= 39$	$4,7 \pm 1,3$	$5 \pm 1,3$	$9,6 \pm 1,5$
Landeskader 5 $n= 27$	$4,7 \pm 1,1$	5 ± 1	$9,7 \pm 1,9$
Landeskader 6 $n= 36$	$5,1 \pm 1,5$	$5,3 \pm 1,4$	$10,3 \pm 2,7$
Landeskader 7 $n= 38$	$4,8 \pm 1$	$4,8 \pm 1$	$9,6 \pm 1,7$
Alle männlichen und weiblichen Probanden	$4,4 \pm 1,4$	$4,6 \pm 1,5$	$9,1 \pm 2,7$

Vergleicht man die Ergebnisse der unterschiedlichen Mannschaften, so erzielten die Sportlerinnen aus Landeskader 2 das beste Ergebnis mit dem linken Bein. Am we-

nigsten gut schnitt die Mannschaft aus Landeskader 6 ab. Beim rechten Bein rangiert die Mannschaft aus Landeskader 7 an erster Stelle. Den letzten Platz belegte wieder Landeskader 6.

3.2.1.3. LESS-Scores weiblicher und männlicher Testpersonen im Vergleich

Vergleicht man die LESS-Score Werte der männlichen und weiblichen Sportler miteinander fällt auf, dass die Spielerinnen sowohl auf dem rechten ($p=0,01$) als auch auf dem linken Bein ($p=0,011$) schlechtere Ergebnisse erzielten als ihre männlichen Kollegen.

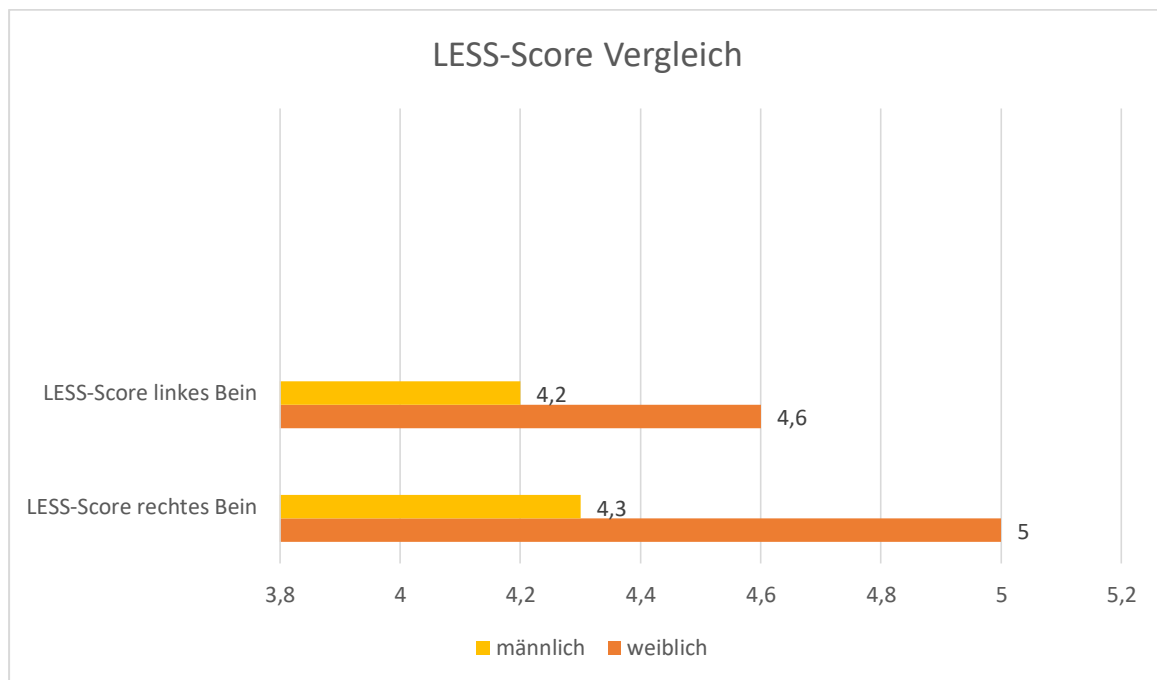


Abbildung 10: LESS-Score Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Spielern

3.2.2. LESS-Score-Parameter bei initialem Bodenkontakt

Genau wie zuvor bei den Gesamt-LESS-Scores wird auch die Kategorie des LESS-Score bei initialen Bodenkontakt genauer betrachtet. Es werden zuerst die Ergebnisse der männlichen Spieler und dann die Resultate der weiblichen Spieler betrachtet und dann im Anschluss miteinander verglichen.

3.2.2.1. LESS-Score-Parameter männlicher Probanden bei initialem Bodenkontakt

Betrachtet man die einzelnen Parameter des LESS-Scores genauer, so kann man feststellen, dass bei 10,9% (n=28) der Sprünge der Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt kleiner als 30° war. Sowohl eine Hüftbeugung als auch eine Beugung des Rumpfes konnte bei allen Spielern zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontakts nachgewiesen werden. 11,2% (n=29) landeten nicht federnd, indem sie die Sprunglandung von den Zehen in Richtung Fersen abrollten, sondern setzten ihren Fuß initial mit der Ferse auf. Bei 12,8 % (n=33) verlief beim linken Bein eine gedachte Linie durch die Patella senkrecht nach unten, medial des Mittelfußes. Das heißt die Sportler landeten bereits in einer Valgusstellung. Für das rechte Bein belief sich der Wert auf 10,9 % (n=28). Bei 2,3 % (n=6) der Sportler war der Körper während der Landung nicht gerade, sondern seitlich gebeugt. Bei 89,5 % (n=231) der Sprünge lag der linke Fuß außerhalb der Senkrechten, die durch die Schulter in Richtung Boden gefällt wurde, das heißt die Spieler landeten eher breitbeinig. Nur bei 1,6 % (n=4) lag der linke Fuß innerhalb dieser Linie. Auf der rechten Seite landeten 90,3 % (n=233) der Spieler breitbeinig und nur 0,8 % (n=2) Spieler setzten ihren Fuß innerhalb der Senkrechten auf.

Tabelle 7: Übersicht über die LESS-Score-Parameter der männlichen Spieler bei initialem Bodenkontakt

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%) Durchschnittswert beider Beine	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Durchschnittswerte aller Sportler
Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt kleiner als 30°	10,9 %	10,9 %	10,9 %	9,6%
Hüft- und Rumpfbeugung bei initialem Bodenkontakt	100 %	100 %	100 %	100%
Initiale Landung mit der Ferse	11,2 %	11,2 %	11,2 %	8,9%
Senkrechte durch Patella verläuft medial des Mittelfußes	12,8 %	10,9 %	11,8 %	23,6%
Seitliche Beugung des Körpers während der Landung	2,3 %	2,3 %	2,3 %	2,4%
Breite Fußstellung während der Landung	89,5 %	90,3 %	90 %	92,5%
Schmale Fußstellung während der Landung	1,6 %	1 %	1,2 %	1,9%
Unsymmetrisches Aufsetzen der Füße	29,8%	29,8 %	29,8 %	32,8%

3.2.2.2. LESS-Score-Parameter weiblicher Probanden bei initialem Bodenkontakt

Betrachtet man auch hier die einzelnen Parameter genauer, erkennt man, dass bei 8,4 % (n=23) der absolvierten Sprünge der Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt kleiner als 30° war. Genau wie bei den männlichen Sportlern konnte auch bei allen Spielerinnen, bei Erstkontakt mit dem Boden, eine Hüft- und Rumpfbeugung nachgewiesen werden. 6,6 % (n=18) der Landungen fanden ohne abfedernde Bewegungen durch das Abrollen von den Zehenspitzen zur Ferse statt. Bei 24,5 % (n=67) der Sprünge verlief eine gedachte Linie durch die Patella senkrecht nach unten, beim linken Bein medial des Mittelfußes. Beim rechten Bein war dies in 44,9 % (n=123) der Fall. Bei 2,9 % (n=8) der Sprünge konnte man eine Verwindung des Oberkörpers während des Sprungablaufes erkennen. Auf der linken Seite landeten die Sportler bei 1,5 % (n=4) der Sprünge innerhalb einer gedachten Linie, die senkrecht durch die Schulter nach unten verlief. Auf der rechten Seite war dies bei 3,7% (n=10) der Fall. Ein Großteil der Spielerinnen landete, ähnlich wie die männlichen Kollegen, eher breitbeinig, das heißt die Füße setzen außerhalb der Senkrechten durch die Schulter auf. Auf der linken Seite war dies bei 97,8 % (n=268) zu beobachten. Auf der rechten Seite bei 92 % (n=252). Bei nur 1 % (n=2) der Sprünge wurde das linke Bein auf dieser Linie aufgesetzt. Auf der rechten Seite konnte es in 4,4 % (n=12) der Sprünge beobachtet werden.

Tabelle 8: Übersicht über die LESS-Score-Parameter der weiblichen Spieler bei
initialem Bodenkontakt

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) Durchschnittswert beider Beine	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Durchschnittswerte aller Sportler
Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt kleiner als 30°	8,4 %	8,4 %	8,4 %	9,6%
Hüft- und Rumpf- beugung bei initialem Bodenkontakt	100 %	100 %	100 %	100%
Initiales Landen mit der Ferse	6,6 %	6,6 %	6,6 %	8,9%
Senkrechte durch Patella verläuft medial des Mittelfußes	24,5 %	44,9 %	34,7 %	23,6%
Seitliche Beugung des Körpers während der Landung	2,9 %	2,9 %	2,9 %	2,4%
Breite Fußstellung während der Landung	97,8 %	92 %	94,9 %	92,5%
Schmale Fußstellung während der Landung	1,5 %	3,7 %	2,6 %	1,9%
Unsymmetrisches Aufsetzen der Füße	36,9 %	36,9 %	36,9%	32,8%

3.2.2.3. LESS-Score-Parameter weiblicher und männlicher Probanden bei initialem Bodenkontakt im Vergleich

Die Sportlerinnen konnten während der Landung öfter einen Knieflexionswinkel über 30° erzielen als die männlichen Spieler. Außerdem landeten sie weniger häufig gleich beim initialen Bodenkontakt mit der ganzen Fußsohle, ohne sich dabei abzurollen. Die Spielerinnen landeten häufiger als ihre männlichen Kollegen mit beiden Füßen unsymmetrisch. Bei den männlichen Probanden verlief die Senkrechte durch die Patella bei initialem Bodenkontakt deutlich seltener medial des Mittelfußes, als bei den Spielerinnen. Daraus lässt sich erschließen, dass die Sportlerinnen sowohl mit dem linken Bein ($p=0,019$) als auch mit dem rechten Bein ($p<0,001$) öfter in der Knievalgusstellung landen als die männlichen Sportler.

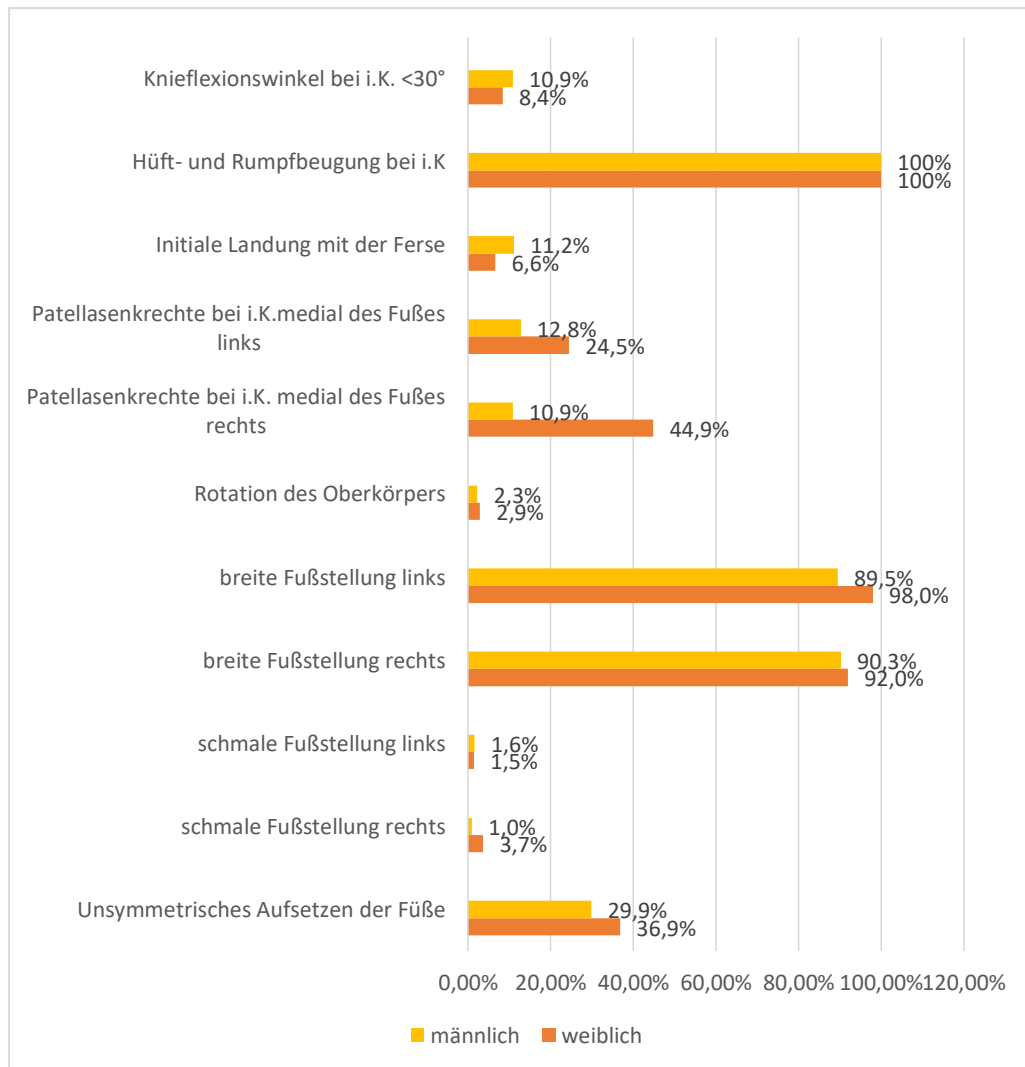


Abbildung 11: LESS-Score-Parameter männlicher und weiblicher Probanden zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontakts im Vergleich

3.2.3. LESS-Score-Parameter bei maximaler Knieflexion

Ähnlich den Parametern bei initialem Bodenkontakt, wird auch der Bewegungsablauf der Sportler bei maximaler Knieflexion analysiert.

3.2.3.1. LESS-Score-Parameter bei maximaler Knieflexion männlicher Probanden

Bei 4,7 % (n=12) beim linken Fuß und 6,2 % (n=16) beim rechten Fuß konnte eine Innenrotation festgestellt werden. Häufiger als die Innenrotation lag aber eine Außenrotation des Fußes vor. Diese fand man bei 41,9 % (n=108) beim linken und 49,2 % (n=127) beim rechten Fuß. Bei nur 0,4% (n=1) der Sprünge war der Knieflexionswinkel bei maximaler Knieflexion kleiner als 45° und bei 1 % (n=2) war die Hüft- und Rumpfflexion bei maximaler Knieflexion kleiner als beim intialen Bodenkontakt. Bei 52,7 % (n=136) der absolvierten Sprünge verlief bei maximaler Knieflexion die Senkrechte durch die Patella in Richtung Boden für das linke Bein medial des Mittelfußes, bzw. medial der linken großen Zehe. Dies bedeutet, dass mehr als die Hälfte der Sportler während des Drop-Jumps eine Valgusstellung des Knies einnehmen. Auf der rechten Seite beträgt dieser Wert 57 % (n=147).

Tabelle 9: Übersicht der LESS-Score-Parameter zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion männlicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%) Durchschnittswert beider Beine	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Durchschnittswert aller Sportler
Innenrotation des Fußes	4,7 %	6,2 %	5,4 %	5,3%
Außenrotation des Fußes	41,9 %	49,2 %	45,5 %	37%
Knieflexionswinkel bei maximaler Knieflexion < 45°	0,4 %	0,4 %	0,4 %	0,4%
Rumpf- und Hüftflexion bei maximaler Knieflexion < als bei initialem Kontakt	1 %	1%	1%	0,4%
Senkrechte durch Patella bei maximaler Knieflexion medial des Mittelfußes	52,7 %	57 %	54,8%	67,3%

3.2.3.2. LESS-Score-Parameter bei maximaler Knieflexion weiblicher Probanden

Eine Innenrotation des Fußes kristallisierte sich sowohl bei 5,1 % (n=14) auf der linken als auch auf der rechten Seite heraus. Eine Außenrotation des Fußes wurde bei 26,6 % (n=73) auf der linken und 31,4 % (n=86) auf der rechten Seite nachgewiesen. Bei keiner der Spielerinnen war die Rumpf- und Hüftbeugung bei maximaler Knieflexion kleiner als beim initialen Bodenkontakt. Außerdem war bei allen Sportlerinnen der Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion größer als 45°. Bei 74,8 % (n=205) der Sprünge befand sich, zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion auf der linken Seite, der Fuß medial der Senkrechten durch die Patella in Richtung Boden. Rechts war dies bei 83,2 % (n=228) der Fall.

Tabelle 10: Übersicht der LESS-Score-Parameter zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion weiblicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) Durchschnittswert beider Beine	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Durchschnittswert aller Sportler
Innenrotation des Fußes	5,1 %	5,1 %	5,1 %	5,3%
Außenrotation des Fußes	26,6 %	31,4 %	28,9%	37%
Knieflexionswinkel bei maximaler Knieflexion < 45°	0 %	0 %	0 %	0,4%
Rumpf- und Hüftflexion bei maximaler Knieflexion < als bei initialem Kontakt	0 %	0 %	0 %	0,4%
Senkrechte durch Patella bei maximaler Knieflexion medial des Mittelfußes links	74,8 %	83,2 %	79 %	67,3%

3.2.3.3. LESS-Score-Parameter weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion

Die Spielerinnen wiesen seltener eine Außen- und Innenrotation des Fußes auf. Die männlichen Probanden landeten häufiger in einer Außenrotationsstellung als die weiblichen Testpersonen ($p=0,006$). Für das rechte Bein konnte keine statistische Signifikanz festgestellt werden. Genau wie zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontakts, verlief die Senkrechte durch die Patella in Richtung Boden auch zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion bei den männlichen Testpersonen deutlich weniger häufig medial des Mittelfußes, als bei den Sportlerinnen. Daraus lässt sich ein vermehrtes Abknicken in eine Knievalgusstellung der Sportlerinnen erschließen. Dieses Ergebnis konnte sowohl für das linke ($p=0,004$) als auch für das rechte Bein ($p<0,001$) festgestellt werden. In den restlichen Kategorien schnitten männliche und weibliche Probanden recht ähnlich ab.

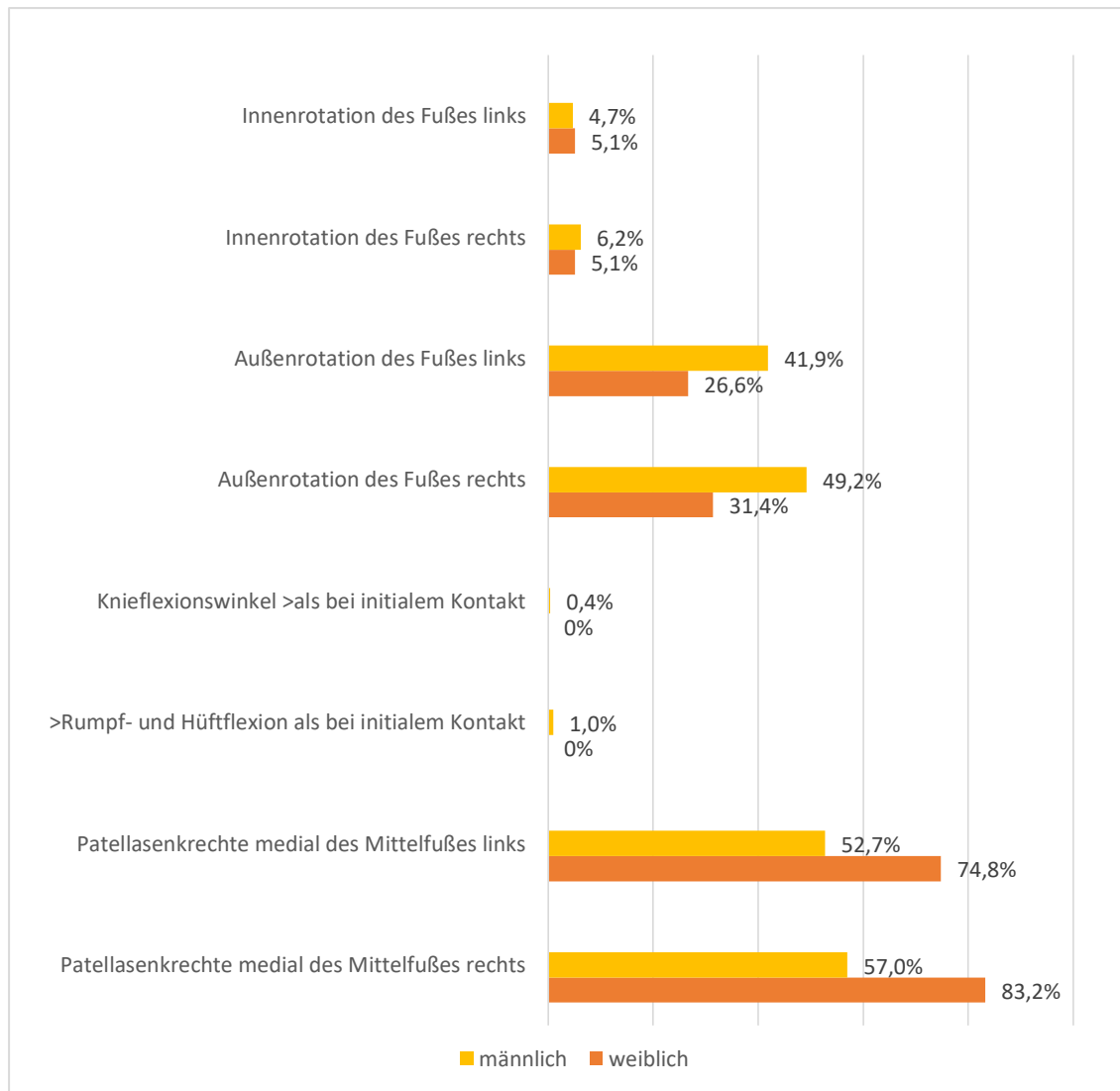


Abbildung 12: LESS-Score-Parameter männlicher und weiblicher Probanden zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion im Vergleich

3.2.4. LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes

Diese Parameter zielen auf eine gesamtheitliche Bewertung des Bewegungsablaufes während des gesamten Sprungablaufes ab.

3.2.4.1. LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes männlicher Probanden

2,3 % (n=6) der Landungen wurden als steif eingestuft. 70,2 % (n=181) der Landungen wurden als durchschnittlich und 27,5 % (n=71) als weich bewertet. Bei dieser Bewertung wurden die Summen der dynamischen Knie-, Hüft- und Rumpfbeugewinkel betrachtet. Zum Schluss wurde noch der Gesamteindruck bewertet. 1 % (n=2) erhielten eine schlechte, 83 % (n=214) eine durchschnittliche und 16,3 % (n=42) eine gute Beurteilung.

Tabelle 11: Übersicht der LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes männlicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%)	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Durchschnittswerte aller Sportler
Steife Landung	2,3 %	1,7%
Durchschnittliche Landung	70,2 %	77,5%
Weiche Landung	27,5 %	20,8%
Schlechte Bewegungsqualität des Sprunges	1 %	0,6%
Durchschnittliche Bewegungsqualität des Sprunges	82,9 %	88,6%
Gute Bewegungsqualität des Sprunges	16,3 %	10,7%

3.2.4.2. LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes weiblicher Probanden

1,1 % (n=3) der Landungen wurden als steif, 84,7 % (n=232) als durchschnittlich und 14,2 % (n=39) als weich eingestuft. Bei der Beurteilung der Bewegungsqualität erhielten 0,4 % (n=1) der Sprünge eine schlechte, 95 % (n=260) eine durchschnittliche und 4,7 % (n=13) eine gute Bewertung.

Tabelle 12: Übersicht der LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes weiblicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%)	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Durchschnittswerte aller Sportler
Steife Landung	1,1 %	1,7%
Durchschnittliche Landung	84,7 %	77,5%
Weiche Landung	14,2 %	20,8%
Schlechte Bewegungsqualität des Sprunges	0,4 %	0,6%
Durchschnittliche Bewegungsqualität des Sprunges	95 %	88,6%
Gute Bewegungsqualität des Sprunges	4,7 %	10,7%

3.2.4.3. LESS-Score-Parameter während des Sprungablaufes weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich

Die männlichen Spieler erhielten in den Kategorien „Bewegungsqualität“ und „weiche Landung“ öfters eine gute Bewertung als die Sportlerinnen. Dies galt sowohl für das linke Bein ($p=0,011$) als auch für das rechte Bein ($p=0,001$). In den restlichen Kategorien schnitten die beiden Geschlechter recht ähnlich ab.

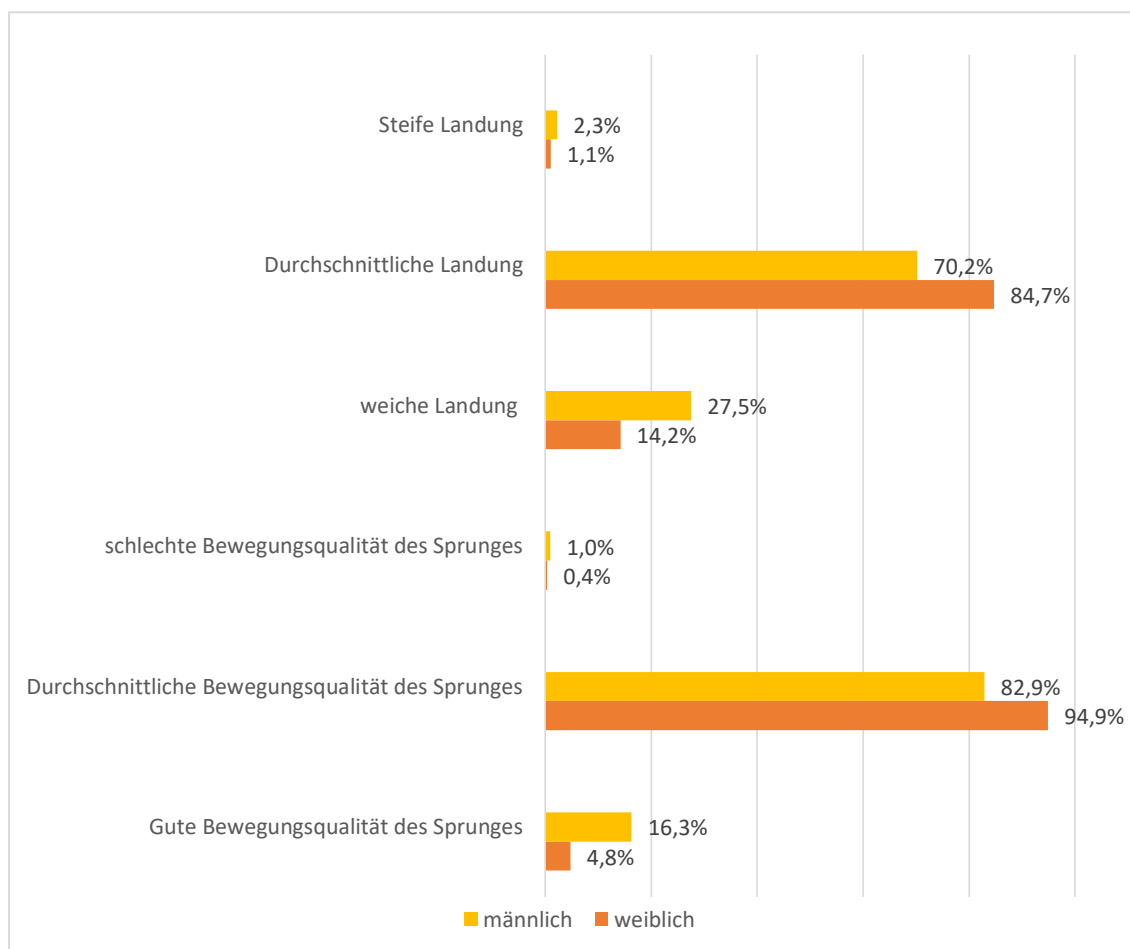


Abbildung 13: LESS-Score-Parameter männlicher und weiblicher Probanden während des Sprungablaufes im Vergleich

3.2.5. Analyse des Knieflexionswinkels während des Drop-Jumps

Die genaue Messung des Knieflexionswinkels erfolgte bei männlichen und weiblichen Sportlern aus lateraler Ansicht.

3.2.5.1. Knieflexionswinkel aus lateraler Ansicht männlicher Probanden

Betrachtet man den Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontaktes ergibt sich im Mittel ein Winkel von 139° (SD ± 9). Zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion beträgt er 96° (SD ± 14). Das heißt die Sportler nehmen zum Abfedern der Sprunglandung eine tiefere Hockstellung ein. Dadurch verkleinert sich der Win-

kel, der durch die Hüfte, einem Punkt seitlich der Patella und dem Knöchel gebildet wird. Es findet eine Winkeländerung von durchschnittlich 43 Grad statt.

3.2.5.2. Knieflexionswinkel aus lateraler Ansicht weiblicher Probanden

Der Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontaktes betrug im Durchschnitt 139° (SD ± 9). Bei Erreichen der maximalen Knieflexion, wurde ein Winkel von 91° (SD ± 11) ermittelt. Die Differenz zwischen den Knieflexionswinkeln, die durch ein Beugen der Knie während der Sprunglandung entsteht, beträgt 48 Grad.

Tabelle 13: Knieflexionswinkel männlicher und weiblicher Probanden aus lateraler Ansicht

Beschreibung	Winkelangabe (Mittelwert und SD) Männliche Probanden n= 86x3	Winkelangabe (Mittelwert und SD) Weibliche Probanden n= 92x3	Winkelangabe (Mittelwert und SD) Weibliche und männliche Probanden n= 178x3
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontakts	$139^\circ \pm 9$	$139^\circ \pm 9$	$139^\circ \pm 9^\circ$
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion	$96^\circ \pm 14$	$91^\circ \pm 11$	$93^\circ \pm 13^\circ$
Differenz zwischen Kniewinkel bei initialen Kontakt und maximaler Knieflexion	43°	48°	46°

3.2.5.3. Knieflexionswinkel aus lateraler Ansicht weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich

Vergleicht man die genauen Winkel während des Sprungablaufes miteinander fällt auf, dass bei initialem Bodenkontakt der Knieflexionswinkel bei beiden Geschlechtern identisch ist. Zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion nehmen die Spielerinnen eine stärkere Beugestellung ein als die männlichen Sportler, und erreichen im Durchschnitt einen Wert von 91°. Mit 96° erreichen die Sportler eine weniger tiefe Hockstellung während des Sprungablaufes, als ihre Kolleginnen ($p=0,006$). Dadurch lässt sich auch erschließen, dass die Differenz zwischen den Knieflexionswinkeln bei initialem Kontakt und maximaler Knieflexion bei den weiblichen Testpersonen größer ist. Dies gilt sowohl für das linke Bein ($p=0,006$) als auch für das rechte Bein ($p=0,004$).

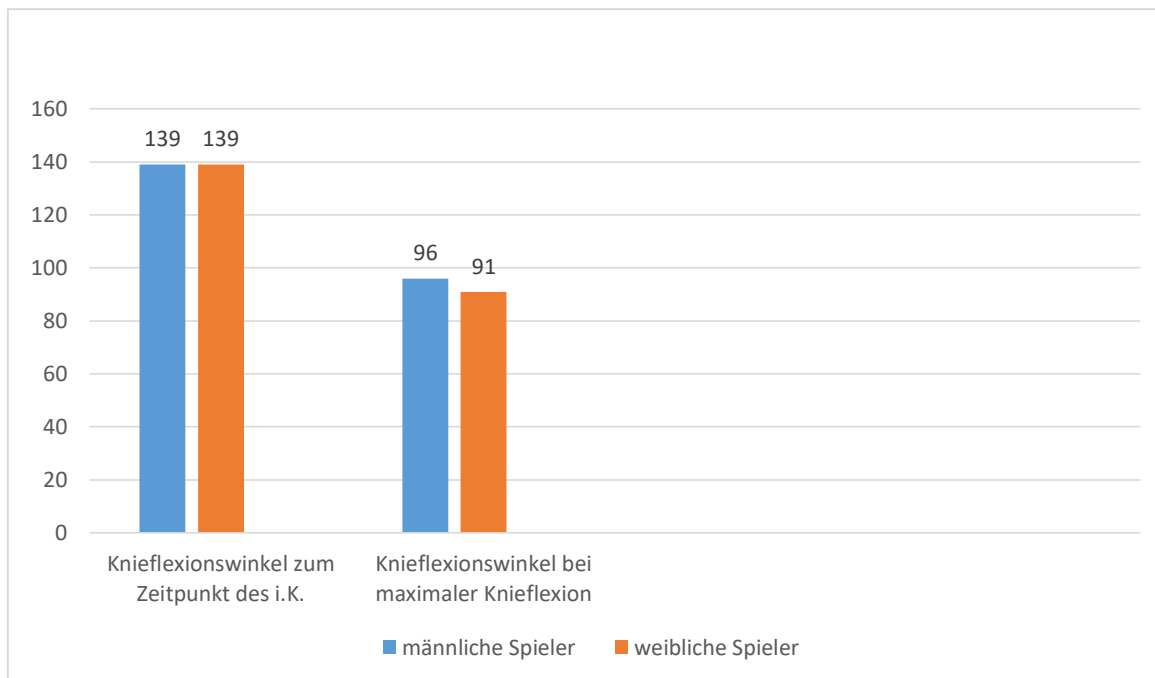


Abbildung 14: Vergleich der Knieflexionswinkel von männlichen und weiblichen Probanden

3.2.6. Knievalgus/-varuswinkel aus frontaler Ansicht

Zusätzlich zum Knieflexionswinkel aus lateraler Ansicht, werden auch noch die genauen Wertzahlen für den Knievalgus- und Knievaruswinkel aus frontaler Ansicht zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontakts und der maximalen Knieflexion ermittelt.

3.2.6.1. Knievalgus/-varuswinkel aus frontaler Ansicht männlicher Probanden

Bei 41,5% (n=107) der Sprünge konnte bei initialem Bodenkontakt auf der linken Seite ein Landen in der Varusstellung nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass die Gelenkachse des Kniegelenks im Vergleich zu seiner physiologischen Stellung nach lateral verschoben ist. Der Varuswinkel betrug im Mittel 189°. Beim rechten Bein konnte dies bei 31,8 % (n=82) der Sprünge ausgemacht werden, bei einem mittleren Winkel von 198°. Bei 50,8% (n=131) der Sprünge landeten die Sportler auf dem linken Bein in einer Valgusstellung. Im Gegensatz zur Varusstellung liegt bei einer Valgusstellung des Knies eine Verschiebung der Gelenkachse nach medial vor. Der Knievalguswinkel betrug im Durchschnitt 174°. Auf der rechten Seite waren davon 62,4% (n=161) der Sprünge betroffen und der Knievalguswinkel berechnete sich im Mittel auf 167°. Bei 7,7% (n=20) des linken Beines und 5,8% (n=15) des rechten Beines verzeichneten wir eine physiologische Stellung des Kniegelenks während der Landung. Zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion musste auf der linken Seite bei 45,3% (n=117) der Sprünge ein Einnehmen der Varus- und bei 45% (n=116) der Valgusstellung verzeichnet werden. Der mittlere Varuswinkel lag dabei bei 189° und der Valguswinkel bei 174°. Betrachtete man das rechte Bein nach diesen Kriterien ergab sich bei 41,9% (n=108) eine Varusstellung und bei 55,4% (n=143) eine Valgusstellung. Hier errechnete sich ein durchschnittlicher Varuswinkel von 193° und Valguswinkel von 166°.



Abbildung 15: Dieses Foto zeigt eine klassische Valgusstellung des Kniegelenks zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion. Im Falle einer Valgusstellung, ist der Winkel, der durch die Mitte des Mittelfußes, den Mittelpunkt der Patella und dem Hüftgelenk gebildet wird kleiner als 180° .

Tabelle 14: Knievalguswinkel männlicher Probanden aus frontaler Ansicht

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=86x3) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Jungen und Mädchen	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Linkes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Rechtes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Jungen und Mädchen
Landen in einer Varusstellung bei initialem Bodenkontakt	41,5%	31,9%	27,1%	189°±8°	198°±13°	192°±11°
Landen mit gerader Bein-achse	7,8%	5,8%	4,7%	180°	180°	180°
Landen in einer Valgusstellung bei initialem Bodenkontakt	50,8%	62,4%	68,1%	174°± 4°	167°± 8°	168°±9°
Abknicken in eine Varusstellung bei maximaler Knieflexion	45,3%	41,8%	28,3%	189°± 8°	193°±10°	191°±9°
Abknicken in eine Valgusstellung bei maximaler Knieflexion	45%	55,4%	67,2%	174°± 5°	166°±10°	166°±11°

3.2.6.2. Knievalgus-/varuswinkel aus frontaler Ansicht weiblicher Probanden

Bei 21,2% (n=58) der Sprünge landeten die Probanden auf der linken Seite in einer Varusstellung, wobei der mittlere Varuswinkel 186° betrug. Auf der rechten Seite war dies bei 15,7% (n=43) und einem durchschnittlichen Winkel von 193° der Fall. 74,1% (n=203) der Landungen erfolgten auf der linken Seite und 83,6% (n=229) auf der rechten Seite in der Valgusstellung. Die dazugehörigen Winkel beliefen sich im Mittel auf 170° und 161°. Auffällig war, dass die Sportlerinnen häufiger mit dem rechten Bein in der Valgusstellung landeten ($p=0,003$). Links landeten 4,7% (n=13) der Spielerinnen mit komplett geradem Bein. Rechts war dies bei 0,7% (n=2) der Fall. Zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion verhielten sich die Parameter wie folgt. 13,9% (n=38) der Sportlerinnen befanden sich sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite in einer Varusstellung. Der mittlere Varuswinkel errechnete sich dabei auf 185° für das linke und 192° für das rechte Bein. Eine Valgusstellung war bei 77% (n=211) der Sprünge auf der linken und bei 85,8% (n=235) auf der rechten Seite zu erkennen, wobei die maximale Valgusstellung im rechten Bein größer war ($p<0,001$). Im Durchschnitt beliefen sich die Valguswinkel auf 170° auf dem linken und 157° auf dem rechten Bein.

Tabelle 15: Knievalguswinkel weiblicher Probanden aus frontaler Ansicht

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Jungen und Mädchen	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Linkes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Rechtes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Jungen und Mädchen
Landen in einer Varusstellung bei initialem Bodenkontakt	21,2%	15,7%	27,1%	186° ± 5°	193° ± 11°	192°±11°
Landen mit gerader Beinachse	4,7%	0,7%	4,7%	180°	180°	180°
Landen in einer Valgusstellung bei initialem Bodenkontakt	74,1%	83,6%	68,1%	170° ± 4°	161° ± 11°	168°±9°
Abknicken in eine Varusstellung bei maximaler Knieflexion	13,9%	13,9%	28,3%	185° ± 3°	192° ± 9°	191°±9°
Abknicken in eine Valgusstellung bei maximaler Knieflexion	77%	85,8%	67,2%	170° ± 6°	157° ± 11°	166°±11°

3.2.6.3. Knievalgus-/varuswinkel aus frontaler Ansicht weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich

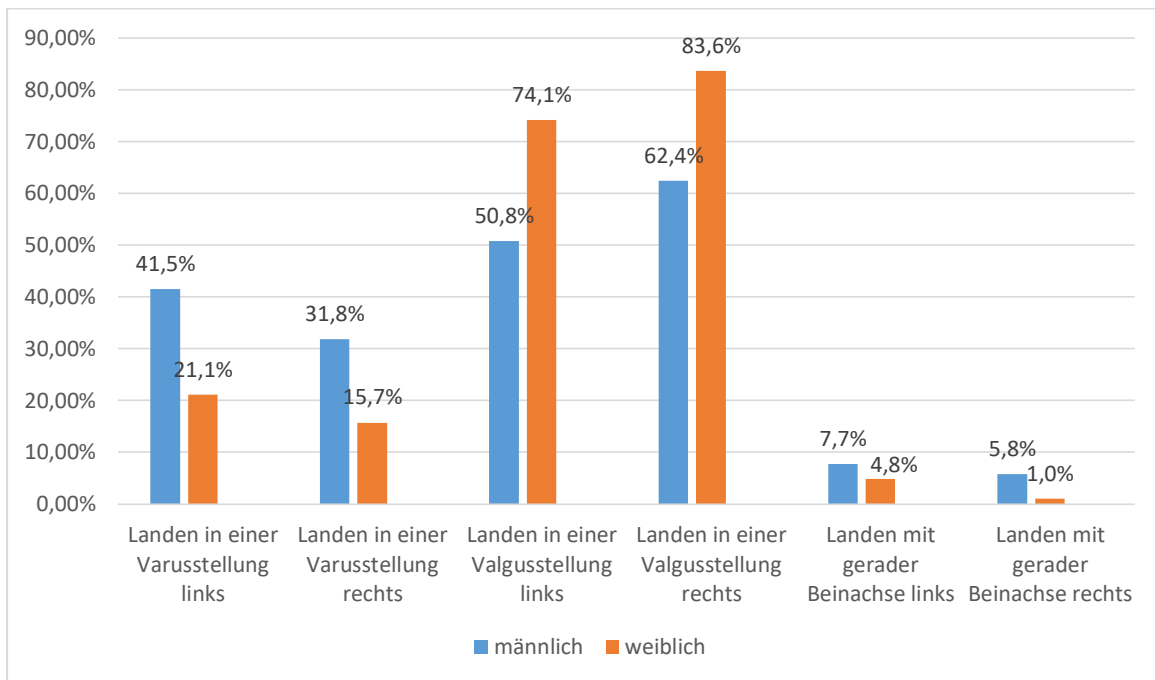


Abbildung 16: Prozentuale Verteilung verschiedener möglicher Beinstellungen während der Landung

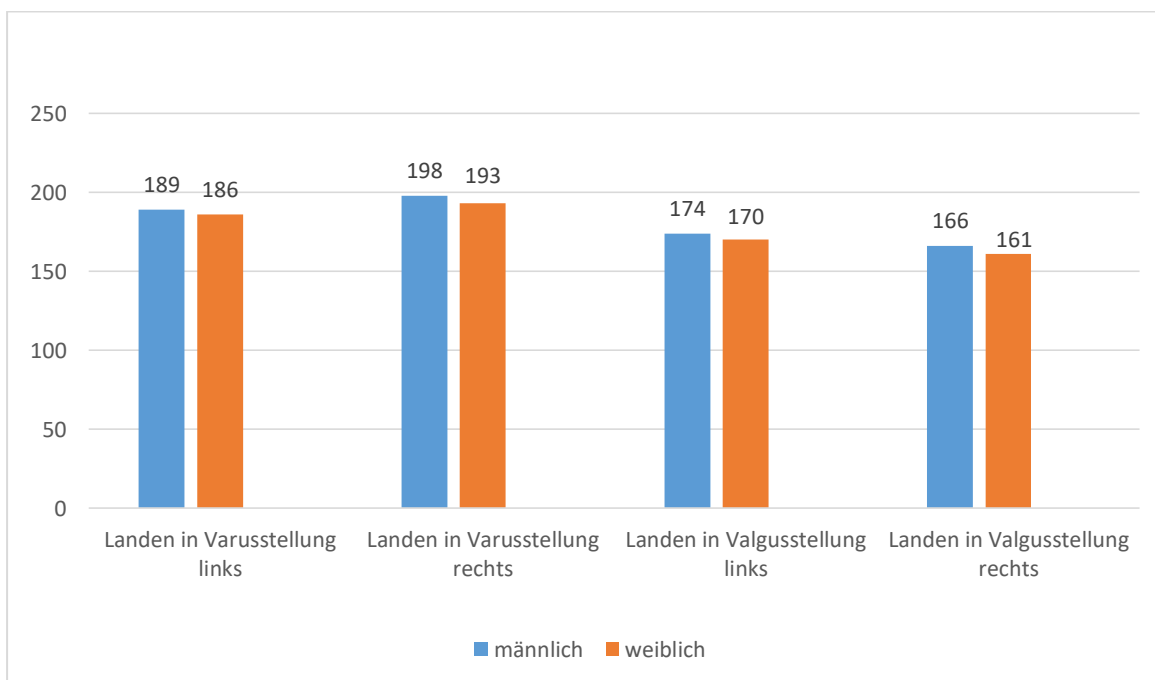


Abbildung 17: Durchschnittliche Winkel beim Landen in den Verschiedenen Bein-
stellungen

Die männlichen Probanden landen deutlich häufiger als die Spielerinnen in einer Varusstellung ($p < 0,014$), was bedeutet, dass der aus frontaler Sicht gemessene Knievalguswinkel größer als 180° ist. Die Sportlerinnen neigen dazu, eher in einer Valgusstellung zu landen ($p < 0,014$). In diesem Fall ist der Knievalguswinkel kleiner als 180° . Die genauen Werte können aus Abbildung 18 entnommen werden. Abbildung 19 verdeutlicht die durchschnittlichen Winkel, die die Sportler in den unterschiedlichen Beinstellungen einnehmen. Hierbei fällt auf, dass sich die Knievarus-/Valguswinkel der männlichen und weiblichen Sportler nur geringfügig unterscheiden. Betrachtet man die Winkel und die Kniestellung zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion, kristallisiert sich heraus, dass auch jetzt die männlichen Spieler deutlich häufiger die Varusstellung einnehmen als die Spielerinnen, welche nicht nur beim Landen, sondern auch während des Sprungablaufes öfters in eine Valgusstellung abknicken ($p < 0,001$). Sowohl die Knievarus-, als auch die Knievalguswinkel der Sportlerinnen sind zu diesem Zeitpunkt geringfügig kleiner als die der männlichen Probanden.

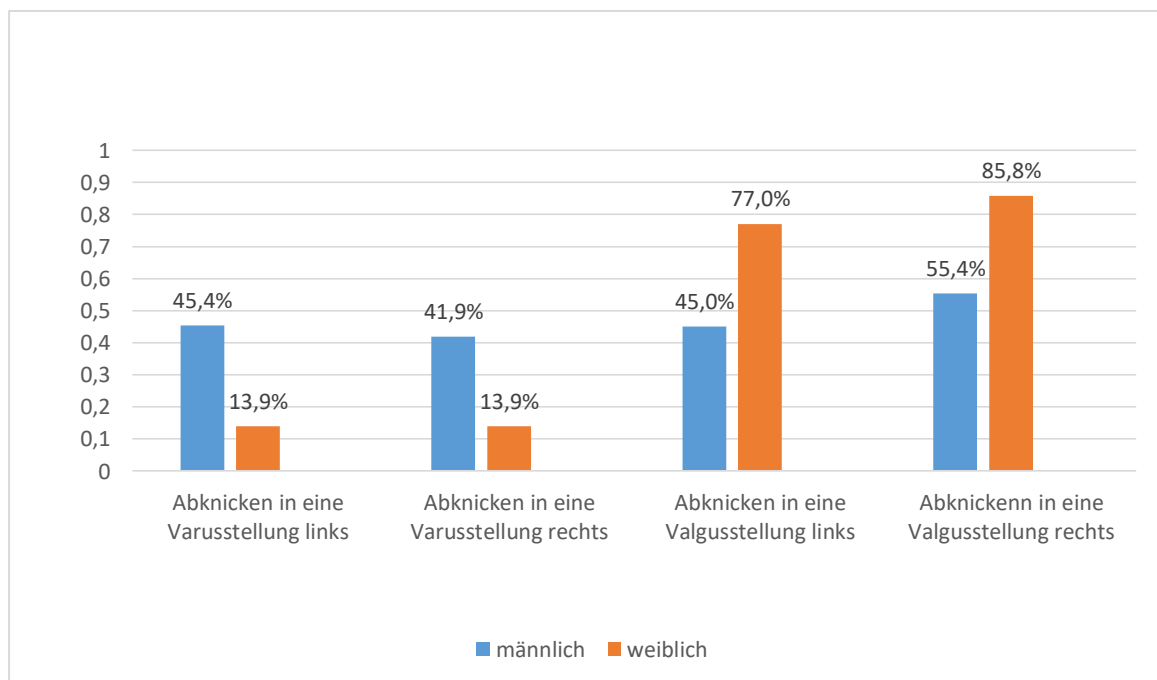


Abbildung 18: Verdeutlichung der verschiedenen Beinstellungen zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion in %

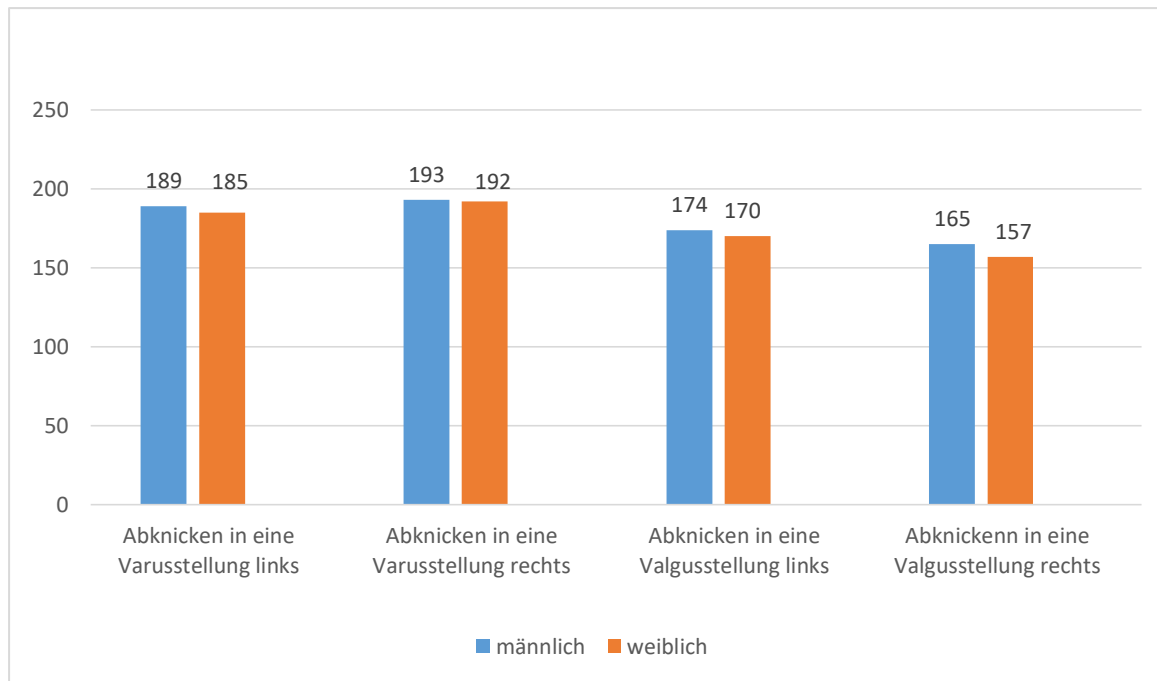


Abbildung 19: Vergleich der durchschnittlichen Winkel der unterschiedlichen Beinachsenstellungen zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion

3.2.7. Überprüfung der Stabilität der Beinachse

Die Fähigkeit, die Beinachse während einer komplexen Bewegung, wie beispielsweise dem Drop-Jump, stabil zu halten, ist eine wichtige Fähigkeit zur Vermeidung von VKB-Verletzungen.

3.2.7.1. Überprüfung der Stabilität der Beinachse männlicher Probanden während des Sprungablaufes

Um die Stabilität der Beinachse während des Sprunges zu überprüfen, wurde die Differenz aus dem Kniewinkel zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontaktes und bei maximaler Knieflexion gebildet. Bei den Sprüngen, bei denen die Sportler in eine Varusstellung abknickten, führte die Gelenkachse eine Bewegung von 10° für das linke, und 15° für das rechte Bein durch. Bei einem Übergehen in die Valgusstellung während des Sprunges konnte eine Winkeländerung von 7° für das linke und 15° für das rechte Bein registriert werden. Bei 4,3% ($n=11$) der Sprünge blieb das linke Kniegelenk während des Sprungablaufes komplett stabil, das heißt es konnte aus frontaler

Sicht kein Abknicken in eine Varus- oder Valgusstellung festgestellt werden. Auf der rechten Seite gelang dies nur bei 1,6% (n=4) der Sprünge.

Tabelle 16: Stabilität der Beinachse männlicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamt-anzahl (n=86x3) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamt-anzahl (n=86x3) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamt-anzahl (n=178x3) n (%) Jungen und Mädchen	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Linkes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Rechtes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert) Jungen und Mädchen
Bewegung der Beinachse während des Sprunges beim Abknicken in eine Varusstellung	44,6%	49,6%	41,6%	10° ± 8°	15° ± 12°	12°
Bewegung der Beinachse während des Sprunges beim Abknicken in eine Valgusstellung	51,2%	48,8%	54,8%	7° ± 6°	15° ± 11°	13°
Stabile Bein-achse	4,3%	1,6%	3,6%	0°	0°	0°

3.2.7.2. Überprüfung der Stabilität der Beinachse weiblicher Probanden während des Sprungablaufes

Die Stabilität der Beinachse während des Sprungablaufes wurde ebenfalls überprüft. Es erfolgte eine Winkeländerung von 6° im Kniegelenk beim Abknicken in eine stärkere Varusstellung auf dem linken und 17° auf dem rechten Bein. Beim Übergang in eine deutlichere Valgusstellung während des Sprunges konnte eine Winkeländerung von 10° für das linke und 18° für das rechte Bein registriert werden. Bei 6,2% (n=17) der Sprünge blieb das linke Kniegelenk während des gesamten Sprungablaufes stabil. Auf der rechten Seite war dies nur bei 2,2% (n=6) der Fall.

Tabelle 17: Stabilität der Beinachse weiblicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=92x3) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=178x3) n (%) Jungen und Mädchen	Winkelangabe (Mittelwert und SD) Linkes Bein	Winkelangabe (Mittelwert und SD) Rechtes Bein	Winkelangabe (Mittelwert) Jungen und Mädchen
Bewegung der Beinachse während des Sprunges beim Abknicken in eine Varusstellung	33,9%	39%	41,6%	6° ± 4°	17° ± 15°	12°
Bewegung der Beinachse während des Sprunges beim Abknicken in eine Valgusstellung	59,9%	58,8%	54,8%	10° ± 7°	18° ± 14°	13°
Stabile Beinachse	6,2%	2,2%	3,6%	0°	0°	0°

3.2.7.3. Überprüfung der Stabilität der Beinachse weiblicher und männlicher Probanden während des Sprungablaufes im Vergleich

Man kann erkennen, dass während des Sprungablaufes nur ein sehr geringer Prozentsatz der Spieler, die Gelenkachse des Kniegelenks komplett stabilisieren konnte. Den Sportlerinnen gelingt dies geringfügig häufiger. Grundsätzlich gleiten die Sportler und Sportlerinnen eher in eine Knievalgusstellung, als eine Knievarusstellung ab. Der Stabilitätsverlust ist bei den Sportlerinnen sowohl für das linke ($p=0,003$) als auch für das rechte Bein (statistisch nicht signifikant) größer als bei den Sportlern. Die Sportler schaffen es also besser, die Differenz aus Kniewinkel zum Zeitpunkt des initialen Kontakts und zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion so gering wie möglich zu halten.

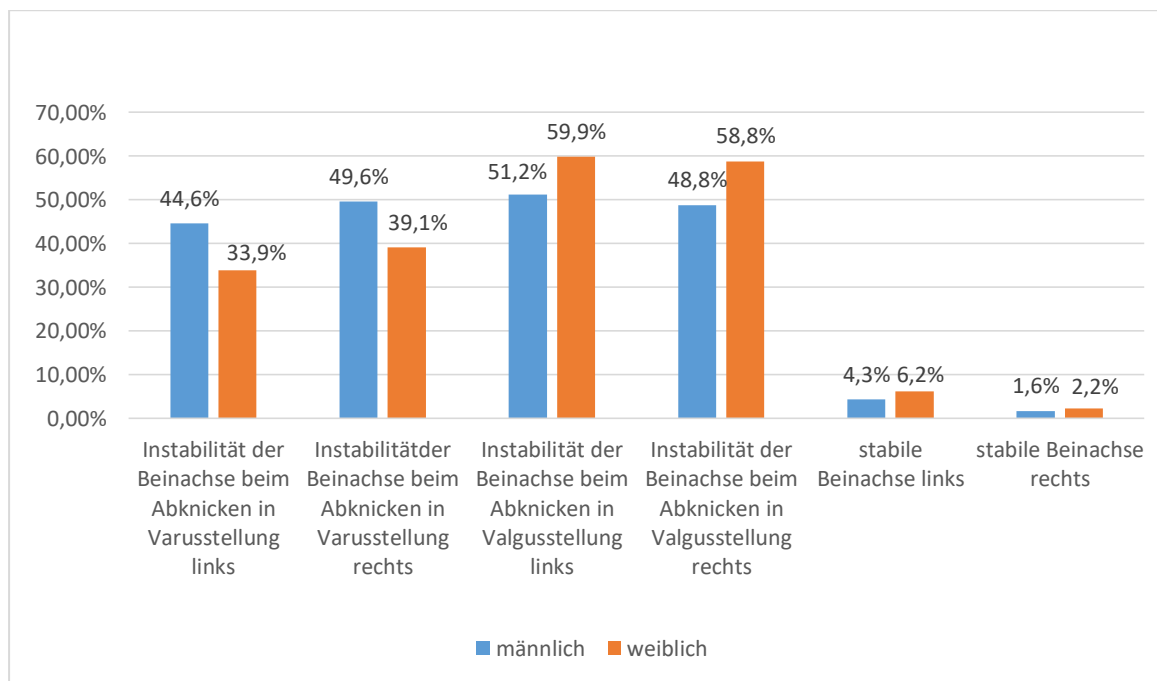


Abbildung 20: Bewegung der Beinachse im Zeitfenster zwischen dem initialen Bodenkontakt und der maximalen Knieflexion

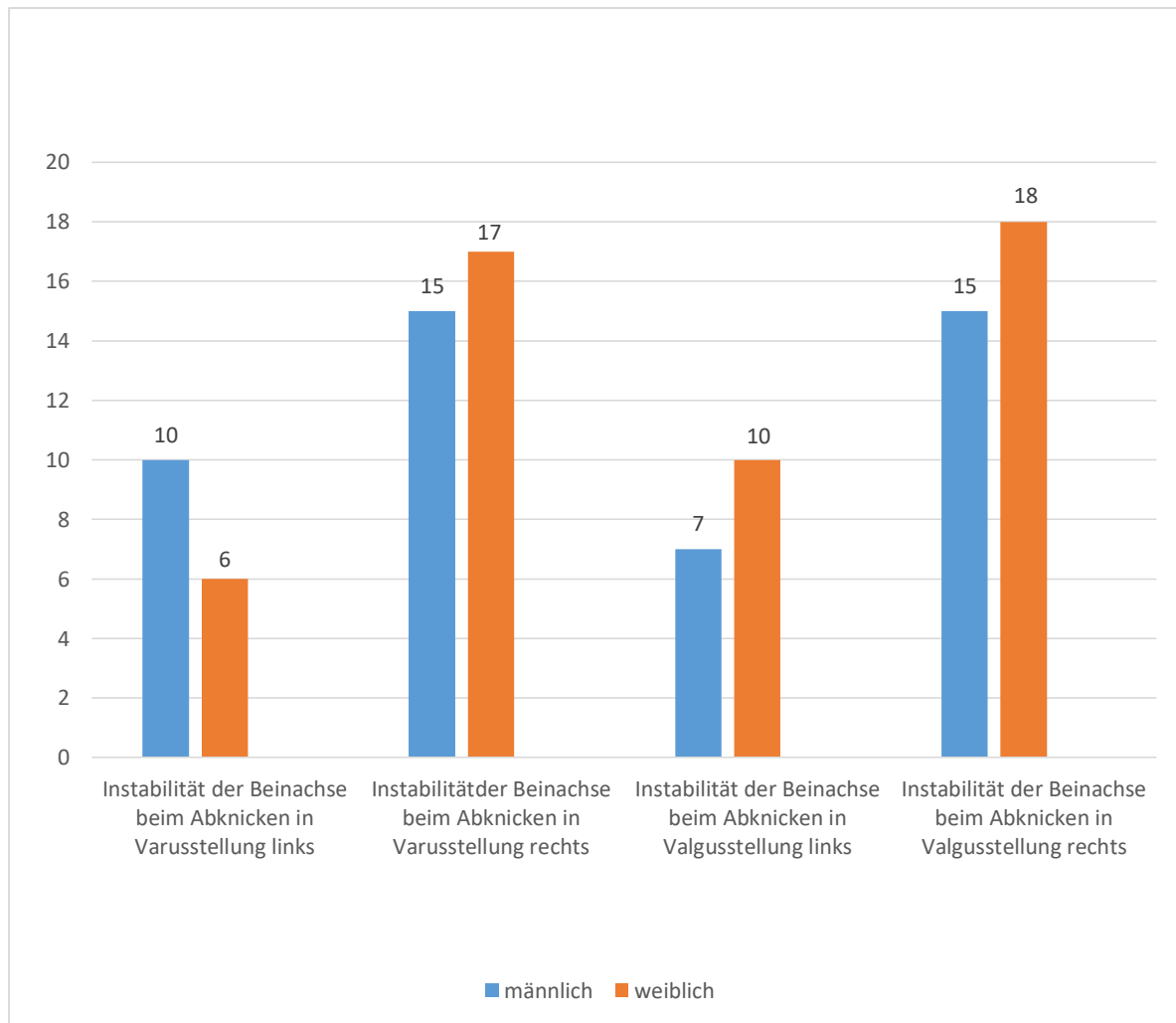


Abbildung 21: Bewegung der Beinachse während des Sprungablaufes in Grad

3.3. Der Side-Hop

Der Side-Hop wurde an den Testort 1 und 2 absolviert. Das heißt es standen 182 Sportler für diese Tests zur Verfügung. Insgesamt konnten auf Grund technischer Probleme und verletzungsbedingter Ausfälle die Daten von 149 Spielern ermittelt werden. Jeder Sportler absolvierte 2 Sprünge, woraus 298 zu bewertende Sprünge resultierten. Davon waren 72 männliche ($n=144$) Spieler und 77 weibliche Spielerinnen ($n=154$).

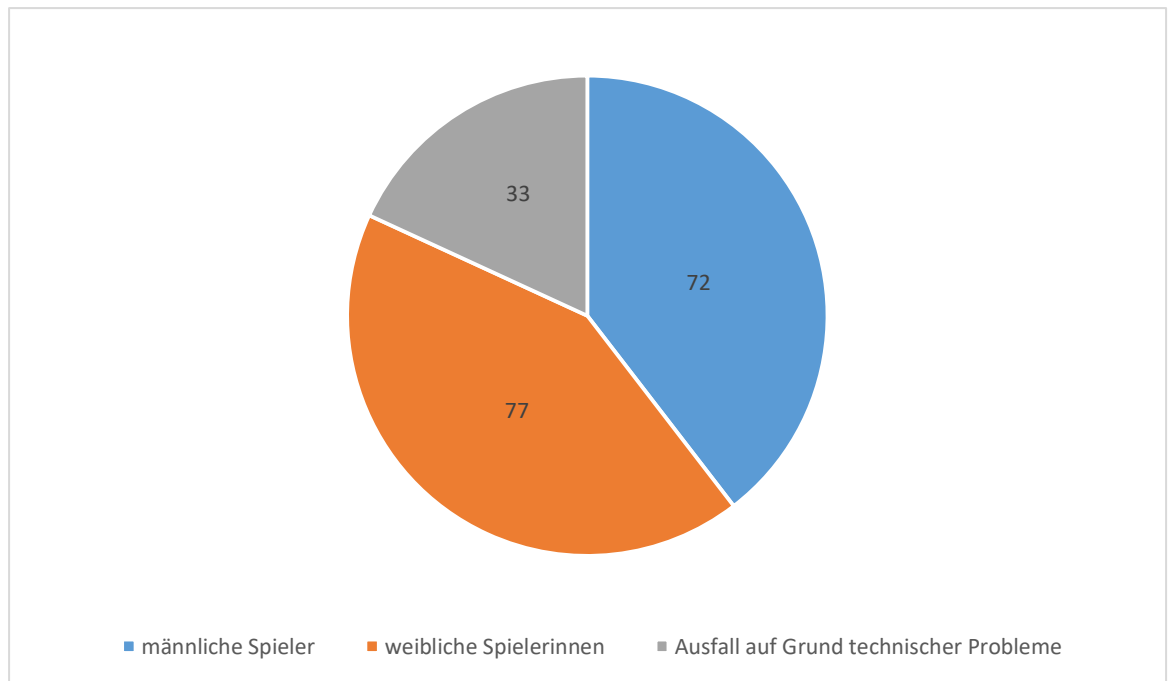


Abbildung 22: Verteilung der einzelnen Sprünge auf die Sportler

3.3.1. Knieflexionswinkel aus lateraler Sicht

Das Vorgehen bei der Ermittlung des Knieflexionswinkels aus lateraler Sicht während des Side-Hops, erfolgte analog zu der Analyse des Drop-Jumps.

3.3.1.1. Knieflexionswinkel männlicher Probanden aus lateraler Sicht

Die Side-Hops wurden analog des modifizierten LESS-Score analysiert. Im Durchschnitt ergab sich ein Knieflexionswinkel bei initialem Bodenkontakt von 126° ($SD \pm 9$) für das linke Bein und 123° ($SD \pm 9$) für das rechte Bein. Zu dem Zeitpunkt, an dem der gesamte Fuß auf dem Boden aufsetzte, ermittelten wir einen mittleren Winkel von 137° ($SD \pm 11$) für das linke und 136° ($SD \pm 9$) für das rechte Bein. Bildet man die Differenz aus dem Winkel zum Zeitpunkt des initialen Bodenkontakts und zum Zeitpunkt, an dem der ganze Fuß den Boden berührt, ergibt sich eine Winkeländerung von -11° links und -13° rechts. Dies bedeutet, dass der Knieflexionswinkel während des Sprungablaufes größer wird und damit die Knieflexion abnimmt. Der Spieler drückt sich ab dem Moment des initialen Bodenkontakts vom Boden ab, wodurch, sobald der ganze Fuß den Boden berührt, bereits maximale Streckkraft ausgeübt

werden kann. Hierdurch wird zu diesem Zeitpunkt die Beinachse am stärksten belastet.

Tabelle 18: Knieflexionswinkel männlicher Probanden aus lateraler Sicht

Beschreibung	Winkelangabe (Mittelwert) n= 72x2 linkes Bein	Winkelangabe (Mittelwert) n= 72x2 rechtes Bein	Winkelangabe (Mittelwert) n= 149x2 Mädchen und Jungen
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt des initialen Boden- kontaktes	126°±9	123±9	125°±12°
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt der maximalen Knief- lexion	137°±11	136°±9	136°±12°
Differenz zwischen Kniewinkel bei initialen Kontakt und maximaler Knieflexion	-11°	-13°	-11°

3.3.1.2. Knieflexionswinkel weiblicher Probanden aus lateraler Sicht

Insgesamt wurden 77 Mädchen bewertet, was in der Summe 154 Sprünge bedeutet. Die Sportlerinnen erreichten einen mittleren Knieflexionswinkel von 126°(SD ± 10) für das linke und 125° (SD ± 9) für das rechte Bein bei initialem Kontakt mit dem Boden. Außerdem 135°(SD ±10) links und 136° (SD ± 8) für das rechte Bein, sobald der ganze Fuß auf dem Boden aufgesetzt hat. Bildet man auch hier wieder die Differenz aus dem Winkel zum Zeitpunkt des initialen Kontakts und dem Zeitpunkt, an dem der ganze Fuß auf dem Boden aufsetzt, ergibt sich eine Winkeländerung von -9° links und -10° rechts.

Tabelle 19: Knieflexionswinkel weiblicher Probanden aus lateraler Sicht

Beschreibung	Winkelangabe (Mittelwert) n= 77x2 linkes Bein	Winkelangabe (Mittelwert) n= 77x2 rechtes Bein	Winkelangabe (Mittelwert) n= 149x2 Mädchen und Jungen
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt des initialen Boden- kontakts	126°±10	125°±9°	125°±12°
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt der maximalen Knie- flexion	136°±10	135°±8°	136°±12°
Differenz zwischen Kniewinkel bei initialen Kontakt und maximaler Knieflexion	-10°	-10°	-11°

3.3.1.3. Knieflexionswinkel weiblicher und männlicher Probanden aus lateraler Sicht im Vergleich

Bei der Gegenüberstellung der Knieflexionswinkel aus lateraler Betrachtungsperspektive fällt auf, dass die männlichen und weiblichen Probanden relativ ähnliche Ergebnisse erzielten. Bei initialem Bodenkontakt waren die Knieflexionswinkel identisch für das linke Bein. Für das rechte Bein war der Knieflexionswinkel der Sportlerinnen um 2° größer. Zum Zeitpunkt, an dem der ganze Fuß den Boden berührte, war der Knieflexionswinkel der Sportlerinnen um 1° kleiner als der der männlichen Testpersonen.

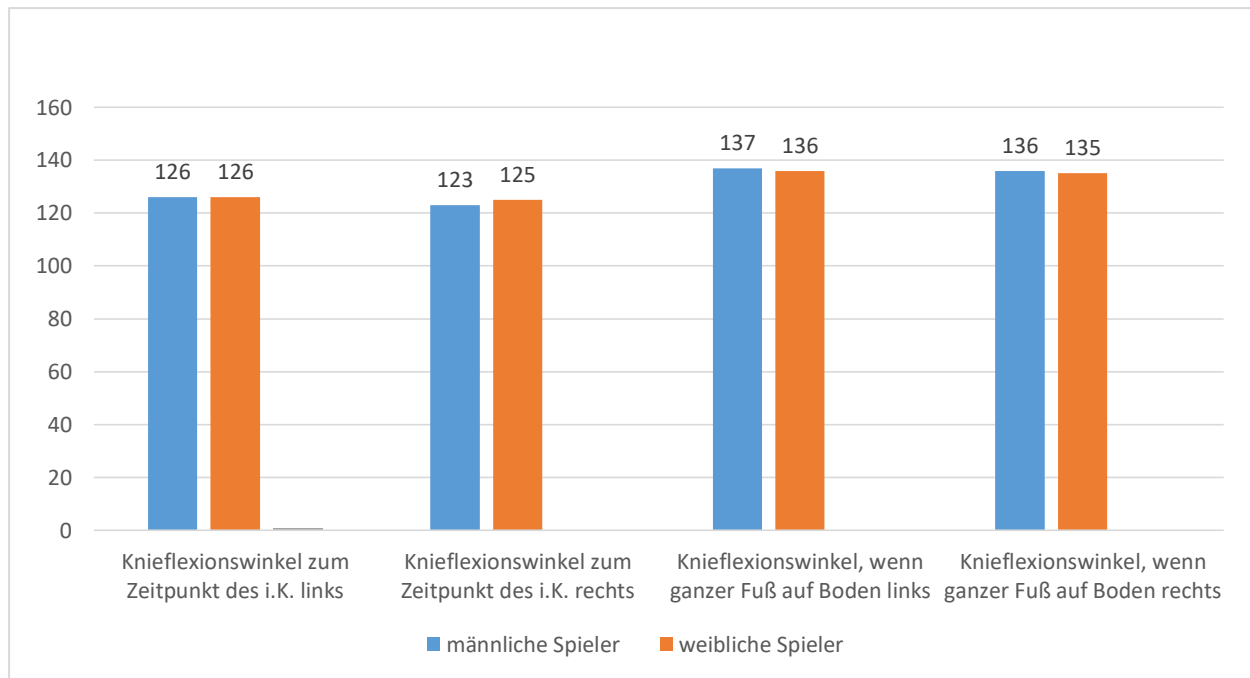


Abbildung 23: Vergleich der Knieflexionswinkel von männlichen und weiblichen Probanden in Grad

3.3.2. Knievalguswinkel aus frontaler Sicht

Analog zum Knieflexionswinkel aus lateraler Sicht, wurde auch der Knievalgus- und Knievaruswinkel aus frontaler Sicht sowohl bei männlichen als auch bei weiblichen Testpersonen ermittelt.

3.3.2.1. Knievalguswinkel aus frontaler Sicht männlicher Probanden

Bei der Analyse des linken Beines aus frontaler Sicht ergab sich, dass die Sportler in 28,5% (n=41) der Fälle in einer Varusstellung landeten und dabei einen mittleren Varuswinkel von 188° einnahmen. 66% (n=95) landeten in der Valgusstellung bei einem durchschnittlichen Valguswinkel von 168°. Bei Betrachtung des rechten Beines landeten 36,8% (n=53) in der Varusstellung und erzielten im Schnitt ebenfalls einen Winkel von 188°, während 53,8% (n=76) in der Valgusstellung auftraten und sich ein mittlerer Winkel von 169° ergab. Analysiert man diese Parameter in dem Moment, indem der ganze Fuß den Boden berührt noch einmal, erkennt man, dass sich nun 16,7% (n=24) der Spieler mit dem linken Bein in der Varus- und 74,3% (n=107) in der

Valgustellung befanden. Die mittleren Winkel lagen dabei bei 188° und 168°. Für das rechte Bein ergibt sich folgendes Ergebnis. 16% (n=23) befanden sich in der Varusstellung bei einem Winkel von 185° und auch mit diesem Bein nahmen 74,3% (n=107) der Sportler eine Valgusstellung, bei einem durchschnittlichen Winkel von 169° ein.

Tabelle 20: Knievalguswinkel aus frontaler Sicht männlicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=72x2) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=72x2) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=149x2) n (%) Mädchen und Jungen	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Linkes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Rechtes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Mädchen und Jungen
Landen in Varusstellung	28,5%	36,8%	25%	188° ± 6°	188° ± 7°	188°±7°
Landen in Valgusstellung	66%	53,8%	69,3%	168° ± 9°	169° ± 8°	166°±10°
Varusstellung, wenn ganzer Fuß auf dem Boden ist	16,7%	16%	12,9%	188° ± 8°	185° ± 4°	188°±6°
Valgusstellung, wenn ganzer Fuß auf dem Boden ist	74,3%	74,3%	81,2%	168° ± 8°	169° ± 8°	165°±9°

3.3.2.2. Knievalguswinkel aus frontaler Sicht weiblicher Probanden

Bei 9,7% (n=15) der Sprünge wurde für das linke Bein das Landen in der Varusstellung bei einem mittleren Winkel von 188° verzeichnet. Rechts war dies bei 26% (n=40) der Fall und einem mittleren Winkel von 189°. Deutlich mehr Sportlerinnen landeten auch bei dieser Sprungübung in der Valgusstellung. Für das linke Bein traf

dies in 87,7% (n=135) und für das rechte Bein in 69,5% (n=107) zu. Die zugehörigen Valguswinkel beliefen sich auf 163° und 164°. Zu dem Zeitpunkt, zu dem der gesamte Fuß den Boden berührte, ergab sich eine Varusstellung bei 6,5% (n=10) und einem Winkel von 187° für das linke Bein und 13% (n=20) und 188° für das rechte Bein. Aber auch jetzt überwog deutlich der Anteil an Sportlerinnen, die sich in der Valgusstellung befanden. Dies ist in 92,2% (n=142) und einem Winkel von 162° für das linke Bein und 83,1% (n=128) und 164° für das rechte Bein der Fall.

Tabelle 21: Knievalguswinkel aus frontaler Sicht weiblicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=77x2) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=77x2) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=149x2) n (%) Mädchen und Jungen	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Linkes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Rechtes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Mädchen und Jungen
Landen in Varusstellung	9,7%	26%	25%	188° ± 7°	189° ± 7°	188° ± 7°
Landen in Valgusstellung	87,7%	69,5%	69,3%	163° ± 8°	164° ± 10°	166° ± 10°
Varusstellung, wenn ganzer Fuß auf dem Boden ist	6,5%	13%	12,9%	187° ± 4°	188° ± 6°	188° ± 6°
Valgusstellung, wenn ganzer Fuß auf dem Boden ist	92,2%	83,1%	81,2%	162° ± 8°	164° ± 9°	165° ± 9°

3.3.2.3. Knievalguswinkel weiblicher und männlicher Probanden aus frontaler Sicht im Vergleich

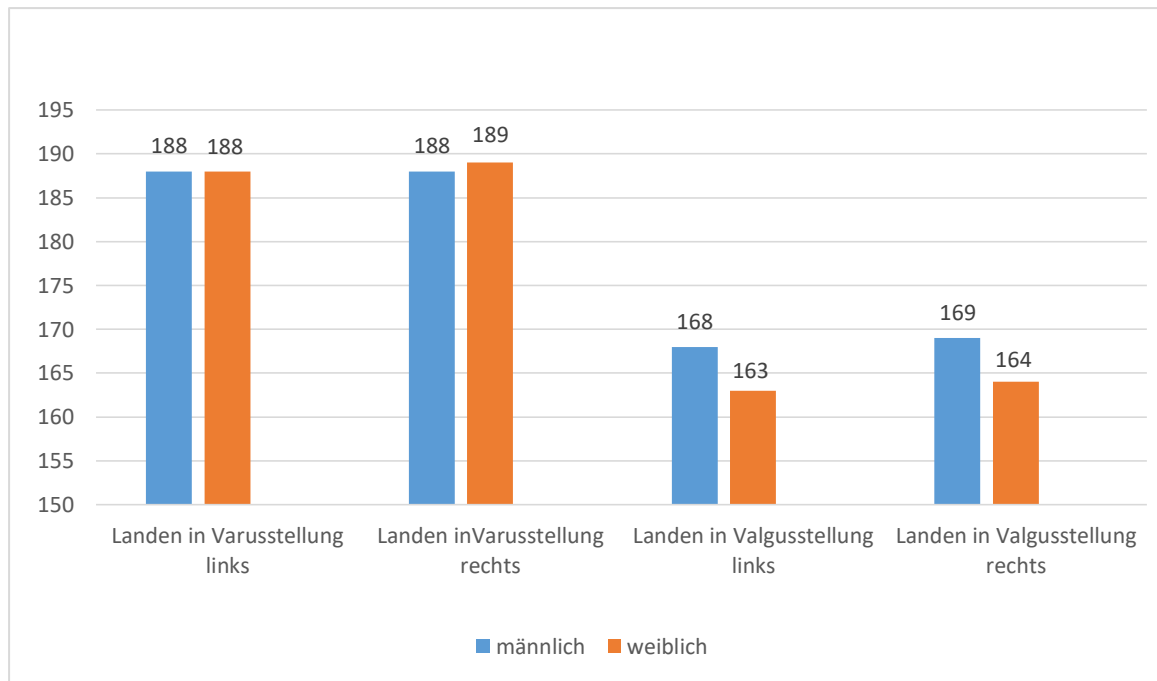
Betrachtet man die Landung beim Side-Hop, dann fällt auf, dass die männlichen Probanden sowohl auf dem rechten, als auch auf dem linken Bein häufiger in einer

Varusstellung landeten, als die weiblichen Probanden. Bei den Sportlerinnen kann man mit über 69 pro Bein ganz deutlich erkennen, dass sie vermehrt in der Valgusstellung landen.



Abbildung 24: Prozentuale Verteilung der verschiedenen möglichen Beinstellungen während der Landung

Vergleicht man die genauen Winkel während der Landung miteinander, dann erkennt man, dass beim Landen in der Varusstellung für das linke Bein kein Unterschied bezüglich des Varuswinkel zwischen den beiden Geschlechtern vorherrscht. Beim rechten Bein ist der Varuswinkel der männlichen Sportler um 1 Grad kleiner als der der Sportlerinnen. Bei den Spielern, die in der Valgusstellung landen, wird deutlich, dass der Valguswinkel bei den weiblichen Probanden im Durchschnitt um 5° für das linke und rechte Knie kleiner ist, als der der männlichen Sportler.



*Abbildung 25: Durchschnittliche Winkel beim Landen in den verschiedenen Bein-
stellungen*

Sowohl männliche, als auch weibliche Testpersonen befinden sich zu dem Zeitpunkt, an dem der ganze Fuß auf dem Boden aufsetzt, zum Großteil in der Valgusstellung. Das heißt ihr Knievalguswinkel ist kleiner als 180°. Bei den Sportlerinnen ist dies aber noch häufiger der Fall.

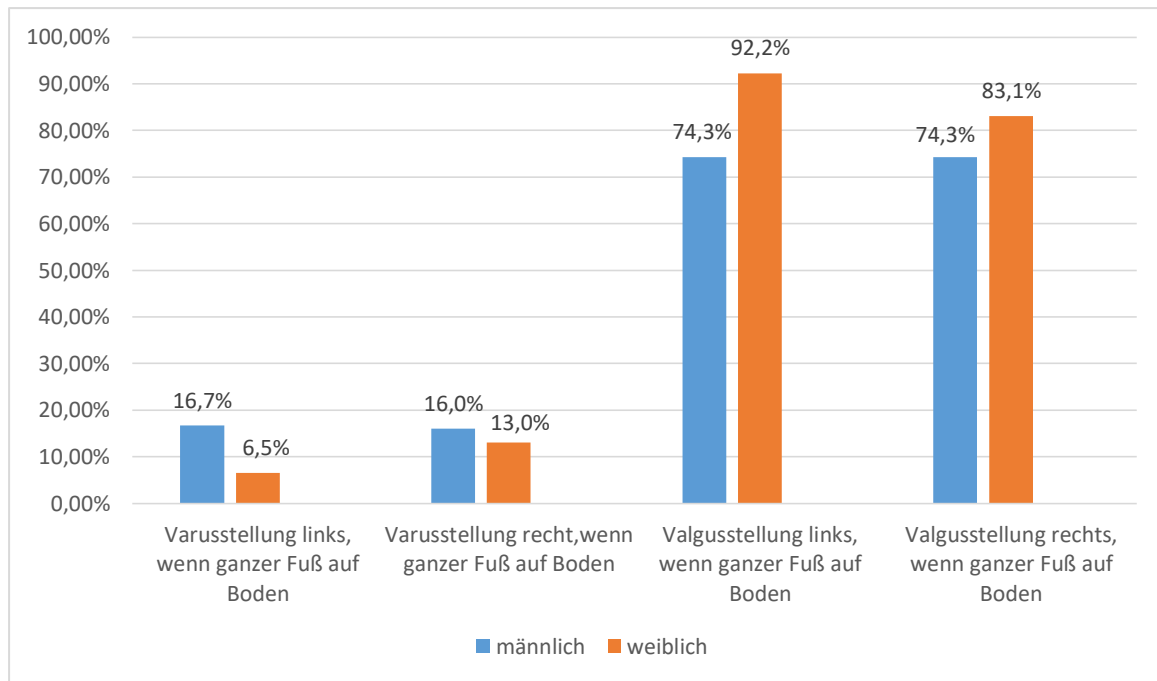


Abbildung 26: Verdeutlichung der verschiedenen Beinstellungen zum Zeitpunkt, wenn der ganze Fuß den Boden berührt in %

Die nachfolgende Abbildung stellt die durchschnittlichen Winkel der männlichen und weiblichen Testpersonen zum Zeitpunkt des maximalen Bodenkontakts dar. Auch zu diesem Zeitpunkt kristallisiert sich heraus, dass die Spielerinnen einen kleineren Valguswinkel einnehmen als die männlichen Testpersonen. Der Unterschied beträgt 6 Grad für das linke und 5 Grad für das rechte Bein.

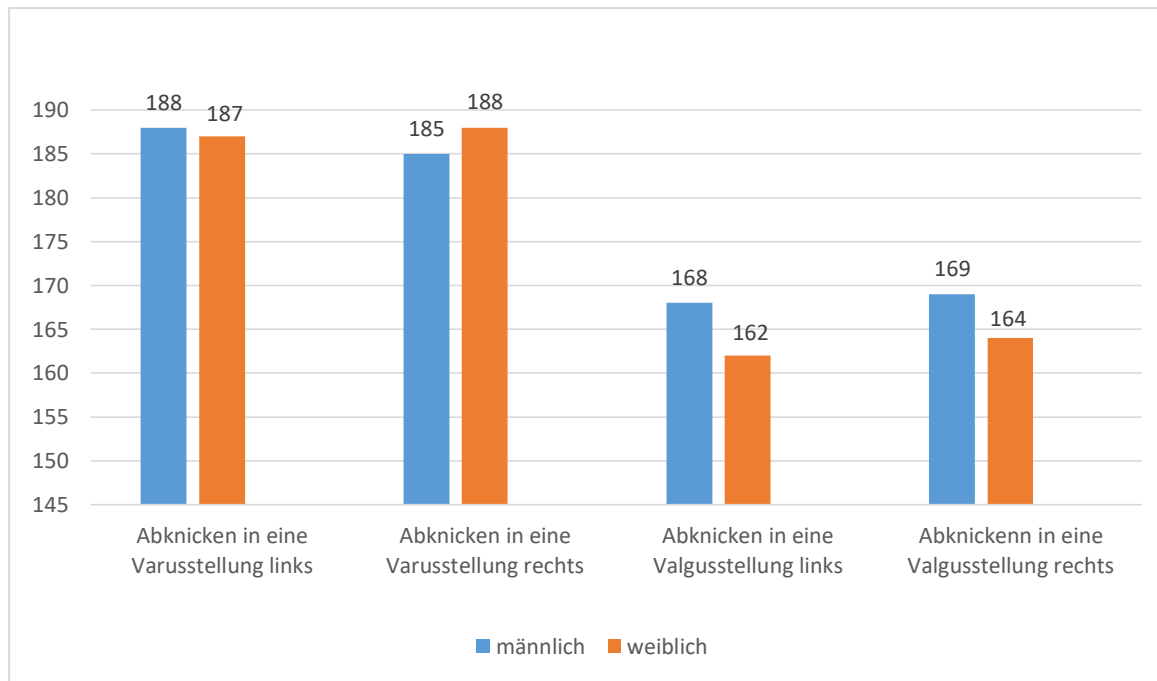


Abbildung 27: Vergleich der durchschnittlichen Winkel der unterschiedlichen Beinachsenstellungen zum Zeitpunkt des maximalen Bodenkontaktes

3.3.3. Stabilität der Beinachse während des Bewegungsablaufes

Genau wie bei den Drop-Jumps, wurde auch bei den Side-Hops die Fähigkeit der Stabilisierung der Beinachse untersucht.

3.3.3.1. Stabilität der Beinachse während des Bewegungsablaufes männlicher Probanden

Auch bei den Side-Hops beurteilten wir wieder die Stabilität des Kniegelenks während des Sprungablaufes. Aus den Analysen resultierte das Ergebnis, dass 36,1% (n=52) mit dem linken Bein im Laufe des Sprunges noch weiter in die Varusstellung abknickten und das Kniegelenk dabei eine Stellungsänderung von 6° durchführt. Rechts war dies bei 32,6% (n=47) der Fall mit einer Bewegung von durchschnittlich 5°. Häufiger glitten die Spieler in eine stärkere Valgusstellung ab, als diejenige, die bei intialem Bodenkontakt herrschte. Beim linken Bein war dies in 61,8% (n=89) und beim rechten Bein in 60,4% (n=87) der Sprünge der Fall. Dabei kommt es zu einer Stellungsänderung des Knies links um einen Winkel von 7° und rechts um 10°. Bei

2,1% (n=3) der Sprünge blieb das Kniegelenk links während des gesamten Sprungablaufes stabil. Bei 6,9% (n=10) traf dies auf das rechte Bein zu.

Tabelle 22: Bewegung der Beinachse während des Sprungablaufes männlicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=72x2) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=72x2) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=149x2) n (%) Jungen und Mädchen	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Linkes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert und SD) Rechtes Bein	Winkel-angabe (Mittelwert) Jungen und Mädchen
Abknicken in eine Varusstellung	36,1%	32,6%	36,2%	$6^{\circ} \pm 5^{\circ}$	$5^{\circ} \pm 5^{\circ}$	5°
Abknicken in eine Valgusstellung	61,8%	60,4%	58,7%	$7^{\circ} \pm 5^{\circ}$	$10^{\circ} \pm 9^{\circ}$	8°
<i>Beinachse stabil</i>	2,1%	6,9%	5%	0°	0°	0°

3.3.3.2. Stabilität der Beinachse während des Bewegungsablaufes weiblicher Probanden

Bezüglich der Stabilität des Kniegelenks ergab sich, dass die Spielerinnen in 42,9% (n=66) auf dem linken Bein während des Sprungablaufes in eine verstärkte Varusstellung abglitten. Dabei kam es zu einer Stellungsänderung des Kniegelenks um 5° . Für das rechte Bein ist dies in 33,1% (n=51) der Fall und es entsteht eine Winkeländerung von ebenfalls 5° . Zu einer Vergrößerung der Valgusstellung kommt es in 51,9% (n=80) für das linke Bein und 61% (n=94) für das rechte Bein. Dabei werden Stellungsänderungen um 8° links und rechts verzeichnet. 5,2% (n=8) der Spielerinnen schafften es, die Beinachse für das linke Bein während des gesamten Sprungablaufes komplett stabil zu halten. Rechts gelang dies in 5,8% (n=9) der Fälle.

Tabelle 23: Bewegung der Beinachse während des Sprungablaufes weiblicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=77x2) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=77x2) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=149x2) n (%) Jungen und Mädchen	Winkelangabe (Mittelwert und SD) Linkes Bein	Winkelangabe (Mittelwert und SD) Rechtes Bein	Winkelangabe (Mittelwert und SD) Jungen und Mädchen
Abknicken in eine Varusstellung	42,9%	33,1%	36,2%	5° ± 4°	5° ± 4°	5°
Abknicken in eine Valgusstellung	51,9%	61%	58,7%	8° ± 6°	8° ± 6°	8°
Beinachse stabil	5,2%	5,8%	5%	0°	0°	0°

3.3.3.3. Stabilität der Beinachse während des Bewegungsablaufes weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich

Abbildung 28 verdeutlicht die Instabilität der Beinachse während des Sprungablaufes und gibt die Prozentuale Verteilung der verschiedenen Bewegungen wieder. Ergänzend dazu kann man aus Abbildung 29 die zugehörigen Winkeländerungen entnehmen. Sowohl bei männlichen als auch weiblichen Probanden kam es mit jeweils über 50% öfter zu einer Zunahme der Knievalgusstellung. Zudem war die Bewegung, die während des Sprungablaufes zu registrieren war, beim Abgleiten in die verstärkte Valgusstellung bei beiden Geschlechtern größer ($p < 0,001$), als beim Abgleiten in die Varusstellung.

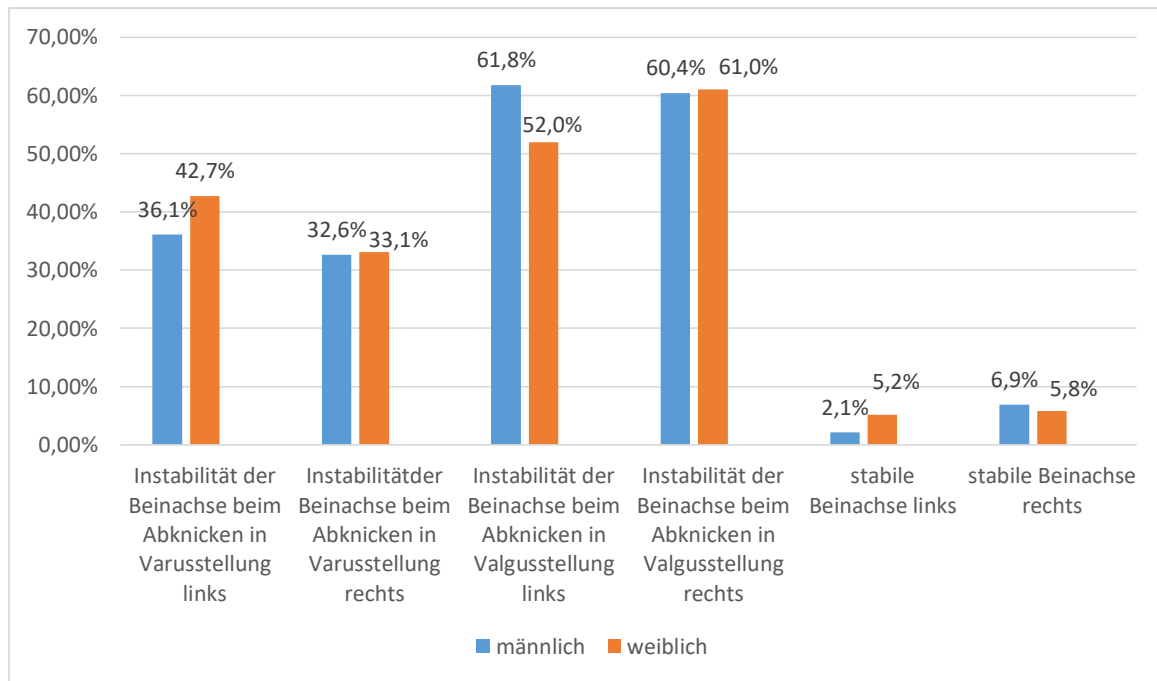


Abbildung 28: Bewegung der Beinachse im Zeitfenster zwischen dem initialen Bodenkontakt und dem maximalen Bodenkontakt

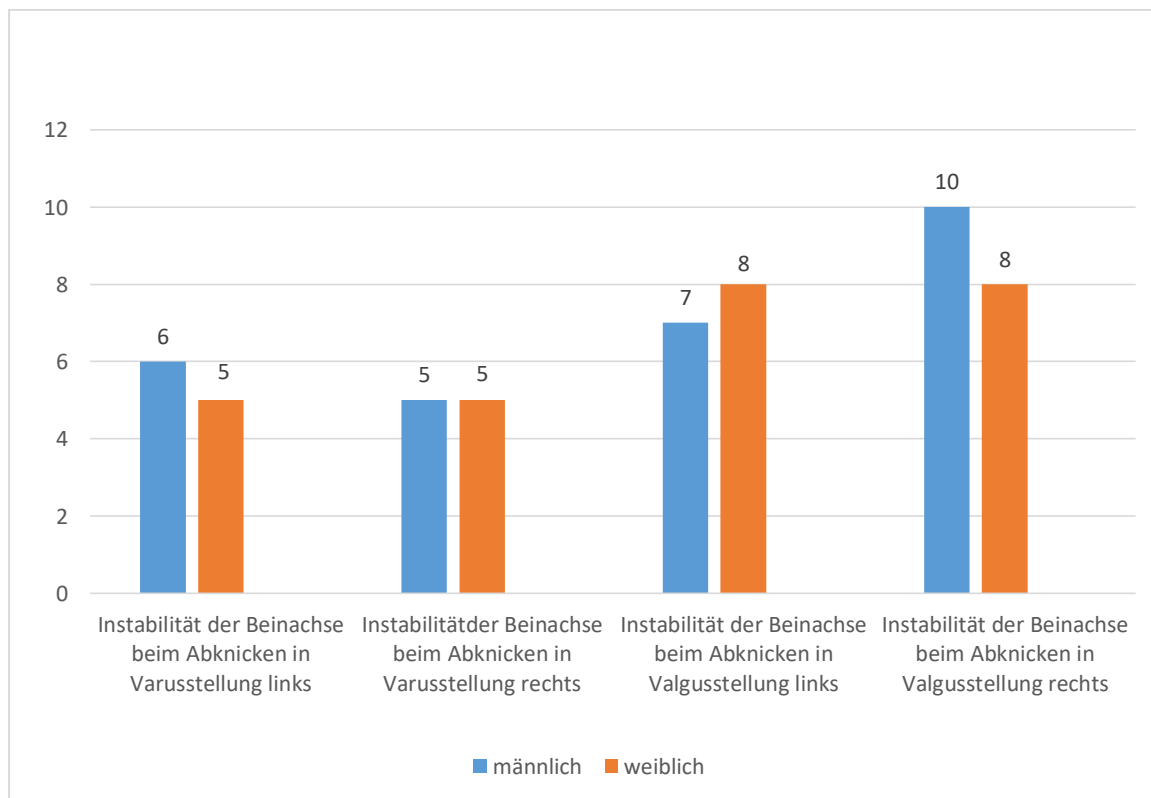


Abbildung 29: Bewegung der Beinachse während des Sprungablaufes in Grad

3.3.4. Weitere Parameter zur Bewertung des Side-Hops

Neben der Stabilität der Beinachse wurden auch noch andere Bewertungspunkte zur Beurteilung der Sprungqualität erfasst und analysiert.

3.3.4.1. Weitere Parameter zur Bewertung des Side-Hops männlicher Probanden

100% (n=144) der Probanden landeten federnd und setzten den Testfuß zuerst mit den Zehenspitzen auf und rollten dann in Richtung Ferse ab. 27,8% der Sportler mussten durch ausgleichende Bewegungen der Arme die Stabilität der Beinachse bei Sprungserien für das linke Bein sichern. Rechts war dies in 45,8 % (n=66) der Fälle. In 8,3% (n=12) der Fälle musste die Sprungserie auf Grund eines kompletten Knievalguskollaps des linken Knies unterbrochen werden. Rechts in 6,9% (n=10) der Fälle. Für den linken Fuß fand bei 26,3% (n=38) der Sprünge und für den rechten Fuß bei 31,9% (n=46) eine Innenrotation statt. Eine Außenrotation lag bei 10,4% (n=15) links und 2,8% (n=4) rechts vor. 83,3% (n=120) der Sprünge erhielten eine gute Bewertung bezüglich der Bewegungsqualität für das linke Bein und 81,9% (n=118) für das rechte Bein. Die gesamten Resultate werden in der nachfolgenden Tabelle noch einmal dargestellt.

Tabelle 24: Parameter zur Bewertung des Side-Hops männlicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=72x2) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=72x2) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtanzahl (n=149x2) n (%) Jungen und Mädchen
Testfuß setzt von Zehenspitze Richtung Ferse auf	100%	100%	100%
Ausgleichsbewegung durch Arme	27,8%	45,8%	41,6%
Knievalguskollaps	8,3%	6,9%	12,4%
Innenrotation des Fußes	26,3%	31,9%	34,2%
Außenrotation des Fußes	10,4%	2,8%	4,9%
Guter Gesamteindruck	83,3%	81,9%	74,8%

3.3.4.2. Weitere Parameter zur Bewertung des Side-Hops weiblicher Probanden

Alle Spielerinnen setzten den Fuß mit der Zehenspitze auf und rollten dann Richtung Ferse ab, was einem federnden Abfangen des Sprunges entspricht. Bei 39% (n=60) der Sprungserien mit dem linken Bein mussten die Spielerinnen durch eine ausgleichende Armbewegung die Stabilität der Beinachse gewährleisten. Rechts war dies in 53,2% (n=82) der Fall. Zu einem kompletten Knievalguskollaps, der eine Stabilisation durch das andere Bein bedeutet, kam es bei 15,6% (n=24) der Sprünge für das linke und 18,2% (n=28) für das rechte Bein. Betrachtet man die Fußstellung bezüglich Innen- und Außenrotation erkennt man für das linke Bein in 44,8% (n=69) der Fälle eine Innen- und in 1,9% (n=3) eine Außenrotation. In 33,1% (n=51) zeigt der rechte

Fuß eine Innenstellung und in 4,5% (n=7) eine Außenstellung an. Bei der Bewertung der Bewegungsqualität erhielten 72,7% (n=112) für das linke Bein und 62,3% (n=96) für das rechte Bein eine gute Bewertung.

Tabelle 25: Parameter zur Bewertung des Side-Hops weiblicher Probanden

Beschreibung	Anzahl Sprünge von Gesamtan- zahl (n=77x2) n (%) linkes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtan- zahl (n=77x2) n (%) rechtes Bein	Anzahl Sprünge von Gesamtan- zahl (n=149x2) n (%) Jungen und Mädchen
Testfuß setzt von Zehen- spitze Richtung Ferse auf	100%	100%	100%
Ausgleichsbewegung durch Arme	39%	53,2%	41,6%
Knievalguskollaps	15,6%	18,2%	12,4%
Innenrotation	44,8%	33,1%	34,2%
Außenrotation	1,9%	4,5%	4,9%
Guter Gesamteindruck	72,7%	62,3%	74,8%

3.3.4.3. Weitere Parameter zur Bewertung des Side-Hops weiblicher und männlicher Probanden im Vergleich

Sowohl männlichen als auch weiblichen Testpersonen gelang es jeden Sprung weich abzufedern. Die männlichen Probanden konnten aber in den Kategorien des Knievalguskollaps und der Ausgleichbewegung durch die Arme bessere Ergebnisse erzielen. Aber auch bei der Innenrotation des rechten und linken Beines, der Außenrotation des rechten Beines und dem guten Gesamteindruck des rechten ($p=0,01$) und linken Beines, lagen die Sportlerinnen hinter den Männern.

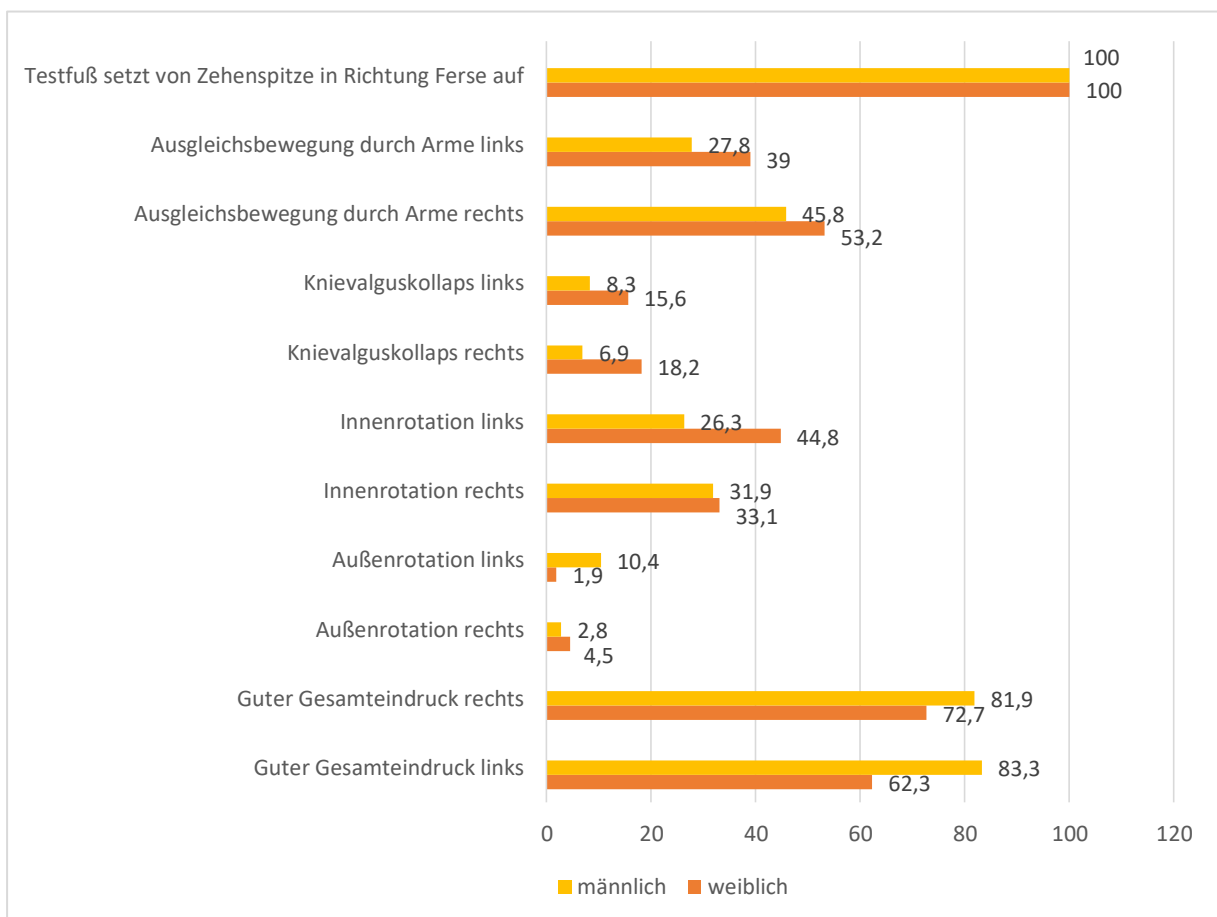


Abbildung 30: Vergleich der Ergebnisse männlicher und weiblicher Sportler in Bezug auf einzelne Parameter der Side-Hop Auswertung in %

3.4. Verletzte Spieler

Von den 202 in unserem Screening getesteten Probanden erlitten zwei Spielerinnen eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Eine weitere Sportlerin zog sich eine VKB-Teilruptur zu. Bei allen 3 Spielerinnen war das linke Knie von der Verletzung betroffen. Zusätzlich erfassten wir bei einer anderen Spielerin eine Verletzung des Innenmeniskus. Die männlichen Probanden blieben während unseres Beobachtungszeitraums von schweren Knieverletzungen verschont. Während unseres Testzeitraumes von 1,5 Jahren, verzeichneten wir 3 Verletzungen, die in unsere Studie eingeschlossen werden konnten. Die Inzidenz während des Testzeitraumes an einer schweren Kniegelenksverletzung zu erkranken liegt also bei 1,5%.

3.4.1. Einzelergebnisse des Drop-Jumps der verletzten Spielerinnen

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse aus der Bewegungsanalyse des Drop-Jumps, der verletzten Spielerinnen noch einmal isoliert zu den restlichen Probanden betrachtet.

3.4.1.1. Einzelergebnisse des Drop-Jumps der verletzten Spielerinnen für das linke Bein

In Tabelle 26a werden die Ergebnisse aus der Analyse der einzelnen Bewegungsphasen des Drop-Jumps, der verletzten Spielerinnen für das linke Bein aufgezeigt. Zusätzlich bietet die Tabelle einen Vergleich mit den Ergebnissen des gesamten Probandenkollektivs.

Tabelle 26a: Ergebnisse des Dropjumps der verletzten Spielerinnen
bezogen auf das linke Bein

Beschreibung	Spielerin 1	Spielerin 2	Spielerin 3	Durchschnittswert weiblich
Verletzungsart	VKB-Ruptur	VKB-Teilruptur	VKB-Ruptur	
Knieflexionswinkel bei initialem Kontakt	143°	133°	144°	139°
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion	83°	97°	89°	91°
Zunahme der Knieflexion während der Landung	60°	36°	55°	48°
Knievalgus-/varuswinkel bei initialem Bodenkontakt	171°	182°	177°	-Varusstellung: 186° -Valgusstellung: 170°
Knievalgus-/varuswinkel bei maximaler Knieflexion	179°	178°	176°	-Varusstellung: 185° -Valgusstellung: 170°
Stabilität der Beinachse während des Sprunges	-7°	5°	1°	-Abgleiten in stärkere Varusstellung: -6° -Abgleiten in stärkere Valgusstellung: 10°

Betrachtet man den Zeitpunkt der Knieflexion bei initialem Kontakt fällt auf, dass Spielerin zwei in einer tieferen Hockstellung landet als der Durchschnitt der weiblichen Probanden. Der Unterschied beträgt 6° . Spielerin 1 und 3 landen mit einem weniger stark abgewinkeltem Knie. Der Unterschied zum Durchschnitt beträgt 4° bzw 5° . Durchschnittlich nimmt die Flexion des Kniegelenks während der Landung bei den weiblichen Spielern um 48° zu. Es fällt auf, dass bei den beiden Spielerinnen, die den Kreuzbandriss erlitten haben, der Knieflexionswinkel stärker zunimmt als beim Durchschnitt und bei der Spielerin, die an dem Kreuzbandanriss erkrankte ein weniger deutliches Einnehmen der Hockstellung erfolgte. Zum Zeitpunkt des initialen Kontakts nahmen Spielerin 1 und 3 aus frontaler Betrachtung eine leichte Knievalgusstellung ein, die nicht weit vom Durchschnittswert entfernt lag. Spielerin 2 landete in einer leichten Varusstellung. Zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion befanden sich alle verletzten Spielerinnen in einer leichten Valgusstellung. Allerdings lagen die Werte zwischen 179° und 176° , weshalb man auch von einer annähernd geraden Beinachse sprechen kann und womit die verletzten Spielerinnen auch bessere Werte als der Durchschnitt erzielten. Auch war die Bewegung der Gelenkachse des Kniegelenks unterhalb der des Gesamtdurchschnitts. Das heißt die Spielerinnen schafften es, ihr linkes Bein während der Landung stabiler zu halten als ein Großteil ihrer Kolleginnen.

3.4.1.2. Einzelergebnisse des Drop-jumps der verletzten Spielerinnen für das rechte Bein

Genau wie Tabelle 26a, zeigt auch Tabelle 26b die Ergebnisse aus der Analyse der einzelnen Bewegungsphasen, während des Drop-Jumps, der verletzten Spielerinnen. In diesem Fall können aus der Tabelle 26b die Werte für das rechte Bein entnommen werden.

Tabelle 26 b: Ergebnisse des Dropjumps der verletzten Spielerinnen
bezogen auf das rechte Bein

Beschreibung	Spielerin 1	Spielerin 2	Spielerin 3	Durchschnittswert weiblich
Verletzungsart	VKB-Ruptur	VKB-Teilruptur	VKB-Ruptur	
Knieflexionswinkel bei initialem Kontakt	143°	133°	144°	139°
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion	83°	97°	89°	91°
Zunahme der Knieflexion während der Landung	60°	36°	55°	48°
Knievalgus-/varuswinkel bei initialem Bodenkontakt	174°	180°	177°	-Varusstellung: 193° -Valgusstellung: 161°
Knievalgus-/varuswinkel bei maximaler Knieflexion	180°	163°	147°	-Varusstellung: 192° -Valgusstellung: 157°
Stabilität der Beinachse während des Sprunges	-6°	17°	30°	-Abgleiten in stärkere Varusstellung: -17° -Abgleiten in stärkere Valgusstellung: 18°

Betrachtet man das Ganze für das rechte Bein, ergeben sich auf Grund des symmetrischen Sprungablaufes die gleichen Knieflexionswinkel bei initialem Kontakt und maximaler Knieflexion wie beim linken Bein. Aus frontaler Sicht landeten Spielerin 1 und 3 wieder in leichter Valgusstellung und Spielerin 2 sogar mit gerader Beinachse. Damit erzielten alle 3 Spielerinnen bessere Werte als der Durchschnitt. Zum Zeitpunkt der maximalen Knieflexion nahm Spielerin 1 einen Knievalguswinkel von 180° ein, das heißt die Gelenkachse des Kniegelenks war gerade. Spielerin 2 und 3 rutschten allerdings in eine stärkere Knievalgusstellung ab. Betrachtet man die Stabilität der Beinachse waren Spielerin 1 und 2 wieder besser als der Durchschnitt. Bei Spielerin 3 musste allerdings eine hohe Instabilität von 30° für das rechte Bein verzeichnet werden. Die Bewegung der Gelenkachse war in ihrem Fall um 12° höher als die des Durchschnitts.

3.4.1.3. Einzelergebnisse des Drop-Jumps der verletzten Spielerinnen beider Beine im Vergleich

In den nachfolgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der verletzten Spielerinnen für das rechte und linke Bein miteinander verglichen. Die Werte entstammen dabei, der Analyse des Drop-Jumps. Abbildung 31 enthält die Werte von Spielerin 1, Abbildung 32 die Ergebnisse von Spielerin 2 und Abbildung 33 bezieht sich auf Spielerin 3.

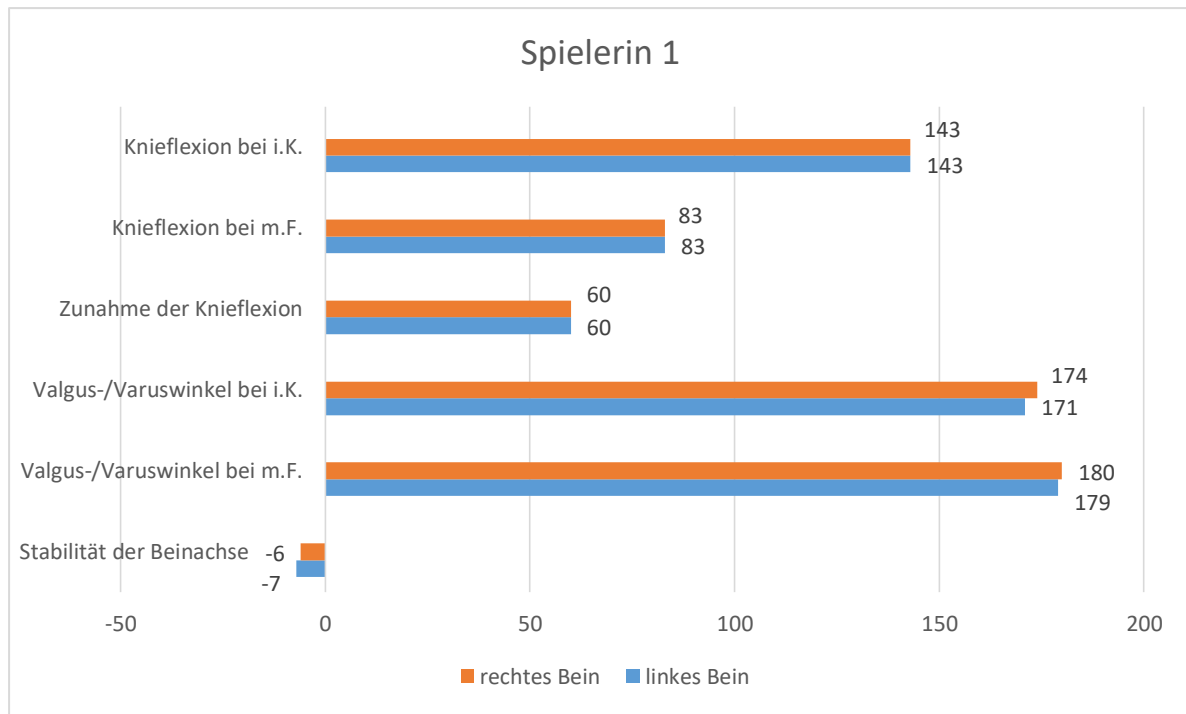


Abbildung 31: Vergleich der Werte von Spielerin 1 für das rechte und linke Bein

Betrachtet man die Werte von Spielerin 1, erkennt man, dass es keine großen Unterschiede zwischen beiden Beinen gibt. Die Bewegung der Gelenkachse während des Sprungablaufes liegt bei -6° bzw. -7° .

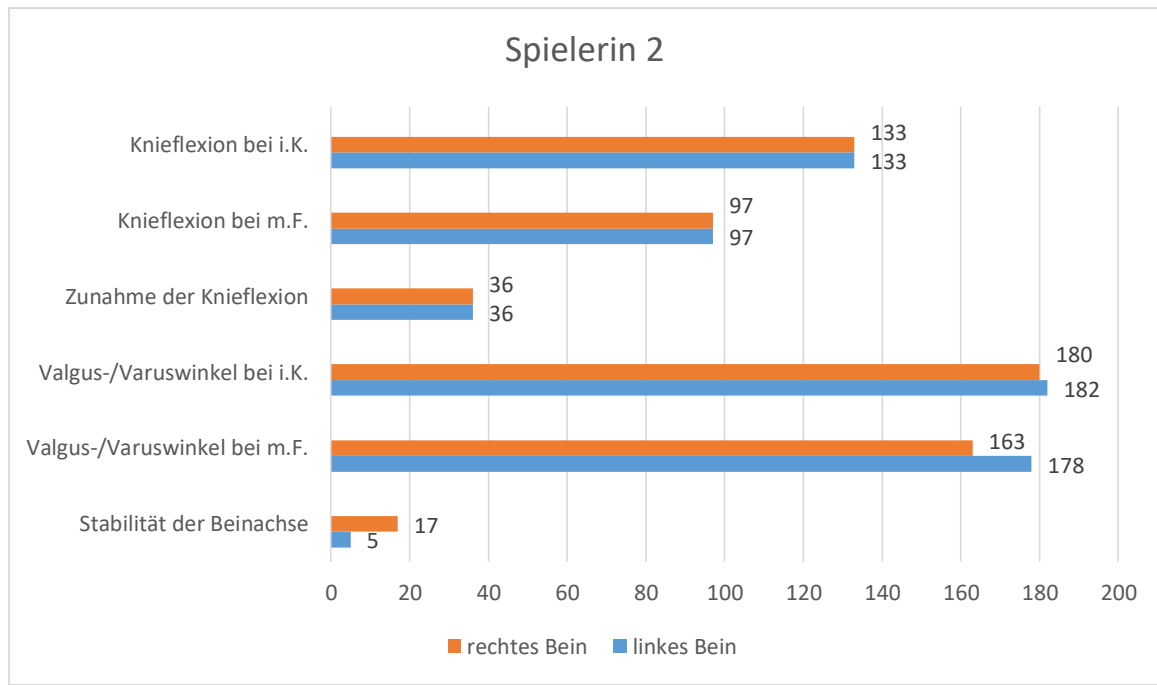


Abbildung 32: Vergleich der Werte von Spielerin 2 für das rechte und linke Bein

Bei Spielerin zwei fällt auf, dass sie mit dem rechten Bein während des Sprungablaufes viel deutlicher in eine Valgusstellung abgleitet als mit dem linken Bein. Das heißt auch, dass sie das rechte Bein nicht so gut stabilisieren kann wie das linke Bein. Bei den restlichen Werten kann man keinen großen Unterschied zwischen beiden Beinen feststellen.

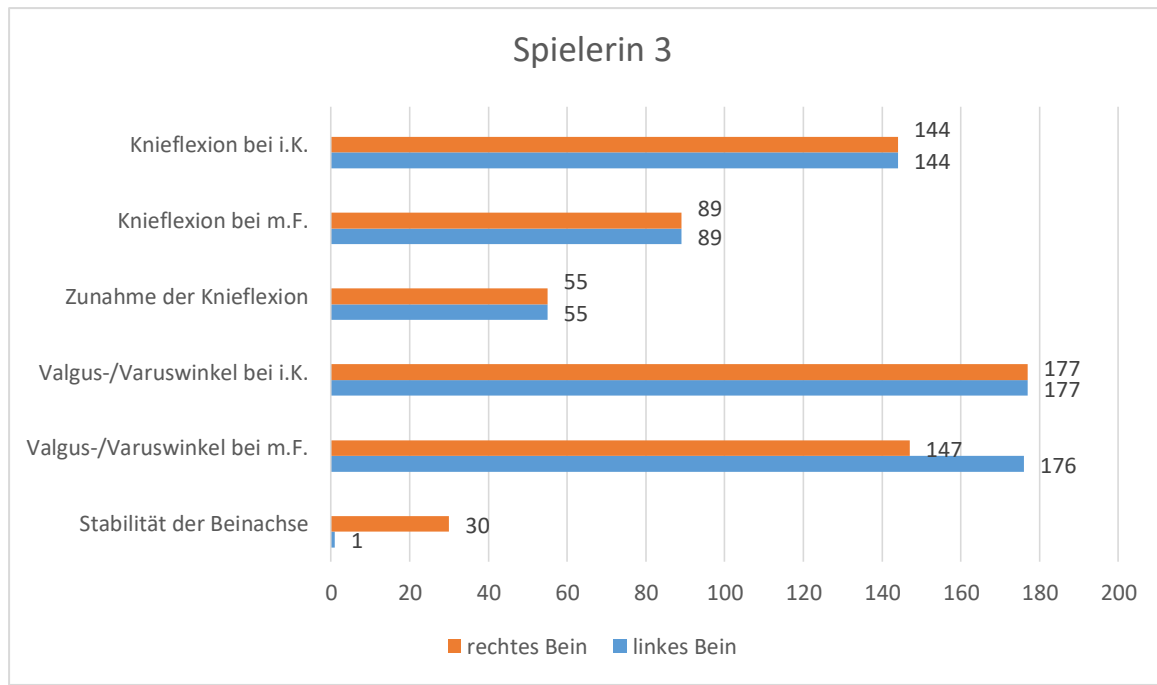


Abbildung 33: Vergleich der Werte von Spielerin 3 für das rechte und linke Bein

Bei der Abbildung der dritten Spielerin kristallisiert sich auch eine deutliche Instabilität des rechten Beines während der Landung heraus. Der Knievalguswinkel, der bei maximaler Knieflexion für das rechte Bein eingenommen wurde, ist um 10° kleiner als der des Durchschnitts.

3.4.2. Der LESS-Score der verletzten Spielerinnen

Betrachtet man den LESS-Score der verletzten Spielerinnen, erzielte Spielerin 1 mit einer Punktzahl von 3,7 für jedes Bein hervorragende Ergebnisse und war damit auch deutlich besser als der Durchschnitt. Laut dem LESS-Score wird Spielerin 2 auf Grund einer Punktzahl von 5,7 eine moderate Technik für das linke Bein bescheinigt. Die Technik des rechten Beines wurde an Hand der Punktzahl von 6,7 als schlecht bewertet. Betrachtet man den LESS-Score isoliert, lag Spielerin 2 hinter dem Durchschnitt der weiblichen Spieler zurück. Spielerin 3 gruppierte sich mit einem LESS-Score von 4 für jedes Bein in die Kategorie der Sportler mit einer guten Technik ein.

Tabelle 27: LESS-Score der verletzten Spielerinnen im Überblick

Beschreibung	LESS-Score Linkes Bein	LESS-Score Rechtes Bein	LESS-Score Beide Beine
Spielerin 1	3,7	3,7	7,3
Spielerin 2	5,7	6,7	12,3
Spielerin 3	4	4	8
Durchschnittswert der weiblichen Sportler	4,6	4,9	9,4

3.4.3. Einzelergebnisse des Side-Hops der verletzten Spielerinnen

Die nachfolgenden Tabellen geben die Einzelergebnisse wichtiger Bewertungspunkte des Side-Hops für die verletzten Spielerinnen wieder. Die Ergebnisse aus Tabelle 28a beziehen sich auf das linke Bein und die Ergebnisse aus 28b auf das rechte Bein der verletzten Spielerinnen. Bei den Side-Hops liegen uns nur die Ergebnisse von zwei Verletzten Spielerinnen vor. Spielerin 3 gehörte zu der Testgruppe aus Testort 3, die jeweils nur den Drop-Jump durchführten.

3.4.3.1. Einzelergebnisse des Side-Hops der verletzten Spielerinnen für das linke Bein

Genau wie auch beim Drop-Jump, werden auch für den Side-Hop die Einzelergebnisse der verletzten Spielerinnen noch einmal detailliert betrachtet. Die Werte aus Tabelle 28a entstammen dabei aus der Bewegungsanalyse der verletzten Spielerinnen während des Side-Hops für das linke Bein. Zusätzlich werden zur besseren Einschätzung der Werte, die Ergebnisse des gesamten Probandenkollektivs angegeben.

Tabelle 28a: Ergebnisse des Side-Hops der verletzten Spielerinnen
bezogen auf das linke Bein

Beschreibung	Spielerin 1	Spielerin 2	Durchschnittswert weiblich
Verletzungsart	VKB-Ruptur	VKB-Teilruptur	
Knieflexionswinkel bei initialem Kontakt	137°	131°	126°
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt, wenn der ganze Fuß den Boden berührt	136°	133°	136°
Zu-/Abnahme der Knieflexion während der Landung	1°	-2°	-10°
Knievalgus-/varuswinkel bei initialem Bodenkontakt	177°	172°	-Varusstellung: 188° -Valgusstellung: 163°
Knievalgus-/varuswinkel, wenn ganzer Fuß auf Boden	173°	178°	-Varusstellung: 187° -Valgusstellung: 162°
Stabilität der Beinachse während des Sprunges	4°	-6°	-Abgleiten in stärkere Varusstellung: -5° -Abgleiten in stärkere Valgusstellung: 8°

Sowohl Spielerin 1 als auch Spielerin 2 landeten mit einer schwächeren Knieflexion als der Durchschnitt der Spielerinnen. Genau wie der Großteil der Spielerinnen befand sich auch Spielerin 2 zu dem Zeitpunkt, an dem der gesamte Fuß den Boden berührte, in einer geringeren Beugstellung des Kniegelenkes als bei initialem Kontakt. Bei Spielerin 1 war dies nicht der Fall. Bei ihr nahm die Knieflexion um 1° während des Sprunges zu. Grundsätzlich konnte man aber bei den beiden verletzten Spielerinnen nur eine sehr geringe Änderung des Knieflexionswinkels während des Sprungablaufes feststellen. Während durchschnittlich eine Abnahme der Knieflexion um 10° errechnet werden konnte, variierten die Winkel der Sportlerinnen lediglich um 1° bzw. 2° . Aus frontaler Sicht landeten beide Spielerinnen in leichter Valgusstellung, die aber schwächer war, als die des Durchschnitts. Während des Sprungablaufes nahm die Valgusstellung von Spielerin 1 leicht zu, von Spielerin 2 verringerte sich die Valgusstellung. Beide Sportlerinnen erzielten bezüglich der Stabilität der Gelenkachse ähnliche Ergebnisse wie ihre Konkurrentinnen.

3.4.3.2. Einzelergebnisse des Side-Hops der verletzten Spielerinnen für das rechte Bein

Genau wie in Tabelle 26a werden auch in Tabelle 26b die Werte aus der Bewegungsanalyse der verletzten Spielerinnen während des Side-Hops wiedergegeben. Die Werte aus Tabelle 26b beziehen sich dabei auf das rechte Bein der Sportlerinnen. Zusätzlich bietet sie auch den Vergleich der Werte mit denen, der unverletzten Spielerinnen.

Tabelle 28b: Ergebnisse des Side-Hops der verletzten Spielerinnen
bezogen auf das rechte Bein

Beschreibung	Spielerin 1	Spielerin 2	Durchschnittswert weiblich
Verletzungsart	VKB-Ruptur	VKB-Teilruptur	
Knieflexionswinkel bei initialem Kontakt	126°	121°	125°
Knieflexionswinkel zum Zeitpunkt, wenn der ganze Fuß den Boden berührt	132°	128°	135°
Zu-/Abnahme der Knieflexion während der Landung	-6°	-7°	-10°
Knievalgus-/varuswinkel bei initialem Bodenkontakt	156°	176°	-Varusstellung: 189° -Valgusstellung: 164°
Knievalgus-/varuswinkel, wenn ganzer Fuß auf Boden	150°	177°	-Varusstellung: 188° -Valgusstellung: 164°
Stabilität der Beinachse während des Sprunges	6°	-1°	-Abgleiten in stärkere Varusstellung: -5° -Abgleiten in stärkere Valgusstellung: 8°

Betrachtet man das rechte Bein, kann man erkennen, dass Spielerin 1 und 2, genau wie der Durchschnitt, bei initialem Kontakt eine größeren Knieflexion einnehmen, als zu dem Zeitpunkt, an dem der ganze Fuß den Boden berührt. Die Änderung des Knieflexionswinkels war bei den verletzten Spielerinnen mit 6° und 7° etwas kleiner als die durchschnittliche Änderung um 10° . Spielerin 1 landete aus frontaler Sicht mit dem rechten Bein mit 156° in einer deutlicheren Valgusstellung als der Durchschnitt und glitt auch während des Sprungablaufes noch deutlicher in diese ab. Die während des Sprungablaufes aufgetretene Änderung des Knievalguswinkels von 6° lag aber noch im Bereich der durchschnittlichen Winkeländerung. Spielerin 2 landete mit annähernd gerader Beinachse und konnte diese während des Sprungablaufes auch weitestgehend stabilisieren. Es musste lediglich eine Winkeländerung von 1° vermerkt werden, womit Spielerin 2 einen besseren Wert als der Durchschnitt erzielte.

4. Diskussion

Eine der bedeutendsten Erkenntnisse aus der Analyse des Drop-Jumps ist es, dass die männlichen Spieler signifikant bessere LESS-Score-Werte erzielten als ihre weiblichen Vergleichspersonen. Außerdem kristallisierte sich heraus, dass sowohl weibliche als auch männliche Probanden während des Sprungablaufes öfter in eine Knievalgus- als in eine Knievarusstellung abgleiten, wobei dies bei den Spielerinnen noch häufiger der Fall ist. Dabei fällt zusätzlich auf, dass die Valgusstellung im rechten Knie bei den weiblichen Probanden durchschnittlich größer war als links. Allgemein hatten die Sportlerinnen größere Probleme die Beinachse während des Drop-Jumps stabil zu halten. Bei Betrachtung des Knieflexionswinkels, wurde deutlich, dass die Spielerinnen eine tiefere Hockstellung einnahmen als die männlichen Testpersonen. Im Vergleich zum Drop-Jump konnten beim Side-Hop weniger geschlechterspezifische Unterschiede festgestellt werden. Die weiblichen und männlichen Probanden erzielten hier recht ähnliche Ergebnisse, mit dem Unterschied, dass die Sportlerinnen deutlich häufiger in einer Knievalgusstellung landeten und dabei auch einen kleineren Knievalguswinkel einnahmen. Eine grundsätzliche Erkenntnis aus unserer Studie war jedoch, dass Videoanalysen von simulierten Hochrisikobewegun-

gen, die während eines Handballspiels auftreten, keine Vorhersagekraft bezüglich des Auftretens einer vorderen Kreuzbandverletzung haben.

4.1. Aussagekraft des Drop-Jumps

Genau wie andere Studien auch (Padua et al. 2009), aber entgegen der Studien von Hewett und Leppänen, erzielten wir das Ergebnis, dass die männlichen Sportler signifikant bessere LESS-Score-Werte erreichten als die Sportlerinnen. Daraus lässt sich auch ein Zusammenhang mit der geringeren Verletzungsrate männlicher Probanden, in Bezug auf vordere Kreuzbandverletzungen ableiten. Da Verletzungen und/oder Rupturen des vorderen Kreuzbandes durch biomechanische Bewegungsmuster beeinflusst bzw. sogar begünstigt werden können, können Mängel in der Bewegungsausführung analysiert werden und mit Hilfe des LESS-Score ausgewertet werden. Dazu zählen beispielsweise verringerte Knie-, Rumpf- und Hüftflexionen während des Sprungablaufes. Auch ein erhöhter Knievalguswinkel und eine Rotation der Füße kann die Belastung auf die Kreuzbänder des Knies erhöhen (Padua et al. 2009). Unsere Studie kam zu dem Ergebnis, dass weibliche Spielerinnen signifikant öfter in der Knievalgusstellung landen als die männlichen Testpersonen. Außerdem gleiten die Sportlerinnen auch häufiger während des Sprungablaufes in eine noch deutlichere Valgusstellung ab. Die männlichen Testpersonen erzielten zwar ein besseres Ergebnis, was die Stellung des Kniegelenkes während des Sprungablaufes betraf, allerdings mussten wir bei ihnen vermehrt eine Außenrotation des Fußes feststellen, was auch wiederum die Belastung der Bänder während des Sprungablaufes erhöht. Aber auch wenn eine Knievalgusstellung als erhöhtes Risiko für einen Ruptur des vorderen Kreuzbandes identifiziert wurde, ist dies noch nicht die alleinige Ursache (Fukuda et al. 2003). Eine Instabilität des Kniegelenkes während des Sprungablaufes kann ein weiterer Grund für eine Verletzung im Bereich des Knies sein. Grundsätzlich spiegelt sich die Instabilität der Beinachse in einer Änderung des Knievalguswinkels wieder. Dabei kann sich dieses Defizit in der Stabilisation sowohl als ein weiteres Abgleiten in die Varusstellung, als auch in die Valgusstellung widerspiegeln. Der Trend zeigt, dass alle Spieler häufiger mit dem Knie nach medial als nach lateral wegkippten. Wobei diese Tendenz bei den Spielerinnen noch ausgeprägter war. Es fällt auf, dass die Sportlerinnen größere Probleme haben, die Beine

während der Landung zu stabilisieren, da die Winkeländerungen der Knievalguswinkel in der Zeitspanne zwischen initialem Kontakt und maximaler Knieflexion größer sind, als die der männlichen Probanden. Da als Ursache für den Knievalguskollaps, und ein damit verbundenes erhöhtes Risiko von kontaktlosen ALC Verletzungen, eine schwach ausgeprägte mediale, ischiokrurale Muskulatur bewiesen ist, könnte ein gezieltes neuromuskuläres Training dieser Muskelgruppen einen ausschlaggebenden Erfolg in der Prävention von vorderen Kreuzbandverletzungen bringen (Zebis et al. 2009). Im Gegensatz zu anderen Studien haben wir den Drop-Jump nicht nur nach den üblichen LESS-Score Punkten bewertet, sondern auch noch die genauen Knieflexionswinkel, sowie Knievarus- und Knievalguswinkel bewertet. Dadurch ergab sich für uns das Ergebnis, dass weibliche Sportler während des Sprunges eine tiefere Hockstellung einnehmen als die männlichen Probanden. Diese Tatsache ist möglicherweise auf weniger ausgeprägte Quadrizeps-Muskulatur zurückzuführen. Dadurch, dass die Sportlerinnen über weniger Muskulatur in den Beinen verfügen als die Männer, benötigen sie eine längere Strecke, um die Kraft, die während der Sprunglandung auftritt, abzufangen. Dadurch, dass es sich beim Drop-Jump um einen Niedersprung handelt, werden vor allem Momente des Dehnungsreflexes, sowie der elastischen Komponente der Muskulatur ausgenutzt. Durch die Landung werden der Musculus quadriceps und der Musculus triceps surae gedehnt. Dadurch wird über die Muskelspindeln ein Dehnungsreflex ausgelöst, der zu einer vermehrten Innervation ansonsten nicht aktivierter Muskelfasern führt. Aus diesem Grund kommt es im Anschluss zu einer höheren und schnelleren Kraftentwicklung bei der anschließenden Kontraktion (Weineck 1996 und Weineck 2010). Da die männlichen Sportler häufig über einen größeren Muskelquerschnitt und somit auch über mehr kontraktile Einheiten verfügen, lässt sich erklären, warum die Sportler einen kürzeren Weg benötigen, um die Bewegung abzufangen, und deswegen nur eine geringere Hockstellung einnehmen als die Sportlerinnen. Des Weiteren zeigen unsere Ergebnisse, dass die Sportlerinnen mit dem rechten Knie eine stärkere Knievalgusstellung einnahmen als mit dem linken. Außerdem erzielten sie auf der rechten Seite einen größeren maximalen Knievalguswinkel. Die Ursache dafür, müsste in weiteren Studien noch einmal explizit untersucht werden.

Der etablierte Drop-Jump-Test hat das Ziel, Spieler mit einem hohen Risiko für spätere Verletzungen des vorderen Kreuzbandes zu identifizieren. Der Less-Score wird aus einer Summe von 17 Bewertungskriterien während des Sprungablaufes gebildet. Der Less-Score zeigte für unsere getesteten Spielerinnen eine stärkere Asymmetrie der Gliedmaßen und allgemein eine schlechtere Bewertung in der Bewegungsqualität. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit den Resultaten aus anderen Studien und liefern möglicherweise eine Erklärung dafür, warum sich weibliche Personen öfter am Kreuzband verletzen als ihre männlichen Kollegen (Ford et al. 2003, Hewett et al. 2005). Eine Limitierung des Less-Score ist, dass alle 17 Beurteilungen des Bewegungsmusters mit ja oder nein beantwortet werden müssen und dann am Ende alle negativen Bewertungen als eine Gesamtbewertung zusammengefasst werden. Dies macht es schwierig, Spieler mit potenziell verletzungsgefährdeten Bewegungsabläufen zu identifizieren. Deshalb wurden in unserer Studie die genauen Knievalguswinkel und Knieflexionswinkel identifiziert, wodurch die Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern und Asymmetrien in den Gliedmaßen besser aufgedeckt werden konnten. Die Tatsache, dass weibliche Spieler größere Knievalguswinkel und einen größeren Knieflexionswinkel während des Sprungablaufes des Drop-jumps zeigen, wurde auch bereits in anderen Studien beschrieben (Holden et al. 2016, Kemozek et al. 2005, Leppänen et al. 2016).

4.2. Aussagekraft des Side-Hops

Zusätzlich zu den Drop-Jumps wurden auch Videoanalysen des Side-Hops durchgeführt, um herauszufinden ob risikoreiche Bewegungsabläufe mit anderen Methoden identifiziert werden können. Bei der Analyse des Side-Hops erzielten männliche und weibliche Probanden im Gegensatz zu den Drop-Jumps relativ ähnliche Ergebnisse. Eine deutliche Differenz war allerdings bei der Landung während der Sprungaufgabe zu erkennen. Die Sportlerinnen landeten viel häufiger als ihre männlichen Kollegen in der Knievalgusstellung und nahmen auch deutlich kleinere Knievalguswinkel ein. Zum Zeitpunkt, an dem der ganze Fuß den Boden berührt, befanden sich dann beide Testgruppen gehäuft in der Valgusstellung. Dieses Ergebnis kann damit erklärt werden, dass der Side-Hop an sich ein sehr dynamischer Sprung ist, dessen Flugkurve eher horizontal und nicht wie beim Drop-Jump vertikal verläuft. Aus diesem Grund

wirken die Kräfte (Körpergewicht, Erdanziehungskraft) nicht nur senkrecht auf das Kniegelenk ein sondern auch von transversal. Der Sportler versucht sich diesen seitlich einwirkenden Kräften entgegen zu stellen und kippt aus diesem Grund mit dem Knie nach medial, wodurch die Knievalgusstellung entsteht. Auf Grund dessen, dass der Side-Hop Aspekte wie die verschiedenen Landetechniken während eines Handballspiels besser simulieren kann, als der Drop-Jump wäre es wichtig noch mehr konkrete Studien mit Hilfe dieses Sprunges durchzuführen.



Abbildung 34: Veranschaulichung des Sprungablaufes während des Side-Hops

Abbildung 34 verdeutlicht noch einmal die einwirkenden Kräfte während des Sprungablaufes im Zuge des Side-Hops. Beim Side-Hop kommt es zu anterioren Scherkräften auf die Tibia. In Kombination mit einer Einnahme der Knievalgusstellung kommt es zu einer stark erhöhten Belastung des vorderen Kreuzbandes, was eine VKB-Verletzung begünstigt (Padua et al. 2009). Durch ein stärkendes Training der Rumpf-, Oberschenkel- und Wadenmuskulatur kann dem Wegknicken des Knies entgegengewirkt und eine Stabilisation der Beinachse erreicht werden. Zusätzlich

müssen die Sportler weiter koordinativ geschult werden, um die Stellung ihres Knies auch während Wettkampfsituationen oder in ermüdetem Zustand kontrollieren zu können. Da die Testpersonen langsamere Bewegungsabläufe, wie beispielsweise den Drop-Jump, oft exakt ausführen können, sich aber bei dynamischeren Bewegungsabläufen, wie dem Side-hop, oft deutlicher, fehlerhafte Bewegungsmuster zeigen, eignet sich dieser möglicherweise besser dazu, risikoreiche Bewegungsabläufe zu identifizieren (Bishop et al. 2015, Frost et al. 2015).

4.3. Ursachen für die schwache Aussagekraft der Videoanalysen

Unsere Studie hat junge Athleten getestet, von denen der Großteil zwischen 14 und 15 Jahren alt war. Gerade in diesem Alter finden viele neuromuskuläre Veränderungen und sportartspezifische Adaptationen statt. Deshalb ist es möglich, dass sich die neuromuskuläre Kontrolle der Athleten in der Zeit nach unseren ersten Tests und dann im Verlaufe der Saison verändert (Hewett et al. 2004). Außerdem ist es fraglich, ob die Technik, die bei den Massen-Screenings verwendet wird, exakt genug ist, um die Norm darstellenden Bewegungsmerkmale von denen der Risikobewegungsabläufe effektiv zu unterscheiden (Bahr 2016).

4.4. Präventionsprogramme zur Vermeidung von Knieverletzungen

Neuromuskuläre Trainingsprogramme, zeigten bereits in anderen Sportarten wie Fußball oder bei Mannschaften von erwachsenen Handballspielern einen nachgewiesenen protektiven Effekt bezüglich schwerer Knieverletzungen (Myklebust et al. 2003, Soligard et al. 2010). Zusätzlich gibt es auch einzelne Studien, die den Erfolg suffizienter und praktikabler neuromuskulärer Übungsprogramme im Bereich von jugendlichen Handballspielern nachwiesen. Sowohl alle Teilnehmer der Studie als auch Ihre Trainer wurden genauestens in das Präventionsprogramm eingewiesen und die Trainer erhielten zusätzlich, zur besseren Veranschaulichung der Übungen, Film- und Bildmaterial. Außerdem erhielten sie, ähnlich wie in anderen Studien auch, detaillierte Informationen zu den korrekten Landetechniken während eines Sprungablaufes (Steffen et al. 2008). Das Präventionsprogramm beinhaltet 15 minütige Übungsprogramme, die zwei bis dreimal pro Woche während der 10-12 wöchigen

Saisonvorbereitungsphase und einmal pro Woche während der Wettkampfperiode durchgeführt werden sollen. Außerdem wurden handballspezifische, präventive Übungen entwickelt, die in die tägliche Trainingsroutine von jugendlichen Handballspielern integriert werden können. Die Trainingsprogramme beinhalten Sprungübungen, Lande-Übungen, propriozeptive Übungen, plyometrische Übungen und Krafttraining für die Quadrizeps-Muskulatur, die hintere Oberschenkelmuskulatur und die Rumpfmuskulatur. Die Übungen sind in drei Schwierigkeitsstufen eingeteilt, wobei es den Trainern frei obliegt, welchen Schwierigkeitsgrad sie für ihre Spieler angemessen finden (Achenbach et al. 2017). Die unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen des Präventionstrainings machen vor allem im Jugendhandballbereich Sinn. Gerade Spieler im Alter zwischen 15 und 18 Jahren sind besonders verletzungsanfällig. In der A- und B-Jugend sind die Mannschaften recht heterogen besetzt, da die körperliche Entwicklung der einzelnen Spieler sowohl im Hinblick auf Kraft und Schnelligkeit, wie auch auf das Wiedererlangen von Fähigkeiten im koordinativen Bereich einen unterschiedlichen Stand erreicht haben. Da es in dieser Altersstufe oft zu enormen Kraftzuwachs kommt, ist es wichtig, dass neben dem Kraft und Konditionstraining zusätzlich das Koordinationsvermögen geschult wird, um den Umgang mit der neu gewonnen Kraft zu erlernen (Reckling et al. 2003). Dadurch, dass in der Studie Spieler, die das Präventionsprogramm durchgeführt haben, mit einer Kontrollgruppe verglichen wurden, konnte festgestellt werden, dass die präventiven Übungen durchaus einen positiven Effekt auf die Verringerung schwerer Knieverletzungen haben. Die Kontrollgruppe erlitt mit 0,33/1000h Spielbelastung mehr Verletzungen als die Interventionsgruppe mit 0,04/1000h (Achenbach et al. 2017). Es ist belegt, dass das 12-wöchige neuromuskuläre Trainingsprogramm zu einer gesteigerten Muskelvoraktivität der hinteren Oberschenkelmuskulatur im Vergleich zum lateralen Muskelanteil führt. Diese kann 0-10 ms bevor die Seitwärtsbewegung eingeleitet wird, festgestellt werden. Die erhöhte Rekrutierung der hinteren Oberschenkelmuskulatur kann zu einer Reduzierung von kontaktlosen Verletzungen des vorderen Kreuzbandes beitragen (Zebis et al. 2016). Die Probanden unserer Studie führten präventive Übungen nach dem beschriebenen Schema durch. Deshalb muss beachtet werden, dass unsere Analyseergebnisse des Drop-Jumps und des Side-Hops nicht als absolute Ergebnisse gesehen werden dürfen, sondern dass beispielsweise die LESS-Score Werte der Sportler durch das Präventionsprogramm in eine positive Richtung beeinflusst wurden. Diese Manipulation der Testergebnisse stellt aber eine gängige

Vorgehensweise im Alltag dar. Unsere Ergebnisse zeigten auch, dass sich nicht die Spielerinnen mit den schlechtesten LESS-Score Werten schwere Knieverletzungen zuzogen, sondern gerade Spielerinnen mit überdurchschnittlichen LESS-Score Werten erlitten eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Dadurch verliert die Aussagekraft des LESS-Scores bezüglich der Vorhersehbarkeit von Knieverletzungen seine Wirkung. Es wäre interessant, die LESS-Score Werte vor und nach einer Belastung zu analysieren. Denkbar wäre, dass beispielsweise Spieler, die einen guten LESS-Wert vor einer Belastung erzielten und einen deutlich schlechteren LESS-Wert nach der Belastung, ein höheres Verletzungsrisiko aufweisen, als Spieler die gleich von Beginn an zwar ein schlechteres Ergebnis in ausgeruhtem Zustand erreichen, der Leistungsabfall dann aber geringer ist. Da bis zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Studien zu dieser Vermutung vorliegen, sollte dies in Zukunft weiter erforscht werden.

4.5. Verletzungsursachen

Verletzungen des Kreuzbandes werden durch intrinsische und extrinsische Faktoren beeinflusst. Zu den häufigsten bewiesenen intrinsischen Risikofaktoren zählen eine erhöhte Tibia-Plateau-Neigung und eine enge interkondyläre Kerbe. Außerdem konnte man andere potentielle intrinsische Risikofaktoren, wie eine Gelenklaxität, familiäre Veranlagung und den BMI feststellen. Als extrinsische Risikofaktoren können die Oberfläche der Schuhsohle, die Bodenbeschaffenheit und die Spielposition genannt werden (Anderson et al. 2016). Wie in zahlreichen anderen Studien auch, verletzten sich in unserer Studie weibliche Testpersonen häufiger als die männlichen Probanden. Für das gehäufte Auftreten von VKB-Verletzungen bei weiblichen Athleten müssen multifaktorielle Ursachen in Betracht gezogen werden. Einige Studien konnten hormonelle Ursachen feststellen. Die Untersuchungen erzielten das Ergebnis, dass weibliche Athleten auf Grund einer hormonell bedingten Bandlaxität in der ersten Hälfte des Menstruationszyklus anfälliger sind. Wahrscheinlich kommt es auf Grund des erhöhten Relaxinspiegels und der östrogenvermittelten Reduktion von Prokollagen 1 zu veränderten Zugeigenschaften der Bänder und somit auch zu einer Veränderung in der Biomechanik. Orale Kontrazeptiva in Kombination mit neuromuskulärem Training können die dynamische Kniestabilität erhöhen und damit der Gefahr einer VKB-Verletzung entgegenwirken (Anderson et al. 2016). Da bei unserer Studie

nur 3 Verletzungen des vorderen Kreuzbandes auftraten, ist es nicht möglich charakteristische Bewegungsmuster bezüglich der Verletzung festzustellen. Um an eine größere Anzahl an verletzten Spielern zu gelangen, wäre es nötig, die Spieler über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Dies ist aber gerade im Jugendbereich problematisch, da sich bei den Spielern im Laufe der nächsten Jahre, die Rahmenbedingungen, die zum Zeitpunkt unserer Studie herrschten, verändern werden. Beispielsweise wechseln die Spieler vom Jugendhandball in das Lager der Erwachsenen, was nicht selten mit einem Vereinswechsel einhergeht. Dadurch wird es schwierig weiterhin in Kontakt mit ihnen zu bleiben. Außerdem beenden viele jugendliche Spieler, die den Sprung in die Auswahl- und Bundesligamannschaft der Erwachsenen nicht schaffen ihre Handballkarriere oder üben den Sport nur noch amateurmäßig aus.

4.6. Limitierung des Studiendesigns

Zwar ist es uns gelungen, quantitativ gesehen viele Spieler zu testen, allerdings konnten auf Grund technischer Probleme mit dem OptoGait System bei manchen Screenings an Testort 2 nur die Drop Jumps und keine Side-Hops aufgezeichnet werden. Zudem fanden die Screenings der Mädchenmannschaft an Testort 2 am Ende des Lehrgangswochenendes statt. Dies hatte zur Folge, dass einige wenige Sportlerinnen, welchen eine weite Fahrt nach Hause bevorstand, nicht mehr an den Tests teilnahmen, sondern schon vorher die Heimreise antraten. Die Tests an Testort 1 und Testort 2 fanden zwar beide in einer Landessportschule statt, die Testbedingungen waren allerdings in den beiden Teststätten verschieden. An Testort 1 wurde uns eine komplette Turnhalle für die Tests zur Verfügung gestellt, während wir an Testort 2 zum einen mit Platzproblemen bei den Tests der männlichen Spieler zu kämpfen hatten und zum anderen für die Tests der Mädchenmannschaft nur ein Besprechungsraum mit Teppichboden zur Verfügung stand. Die Jungen an Testort 2 konnten auf vergleichbarem Hallenboden getestet werden, wie die Spieler an Testort 1, allerdings war es uns aufgrund der beengten Platzverhältnisse nicht möglich, die Kameras so zu platzieren, dass wir während des gesamten Sprungablaufes, sowohl den Knie als auch den Hüftbereich analysieren konnten. Im Vergleich zu anderen

Studien arbeiteten wir nicht mit speziell von Fachleuten angebrachten Markern, die die Videoauswertung der Sprünge noch präziser macht, sondern wir werteten die Sprünge mit Hilfe des Kinovea-Programmes aus. Um trotzdem eine einheitliche, objektive Analyse zu erzielen, wurde die Auswertung von einer einzigen Person nach immer gleichem Muster vorgenommen. Zwar mussten wir Abstriche in der Präzision hinnehmen, dafür war es uns durch diese Methode aber möglich in kurzer Zeit sehr viele Probanden kostengünstig und mit vergleichsweise geringem Aufwand zu testen, und so diese Studie zu ermöglichen. Ein Vergleich unserer Ergebnisse mit denen anderer Studien ist schwierig, da wir die genaue Anzahl an Spiel- und Trainingsstunden in den 1,5 Jahren unseres Testzeitraumes nicht bestimmt haben. Zudem wird bei vielen anderen Studien auch nur nach allgemeinen Knieverletzungen unterteilt und nicht die Verletzung der Kreuzbänder separat betrachtet.

5. Fazit

Aufgrund der geringen Anzahl an Verletzungen in unserer Studie können wir keine zuverlässige Aussage über die Wichtigkeit von Risikoscreenings bei jugendlichen Handballspielern treffen. Da die drei verletzten Spielerinnen aus unserer Studie zum Teil deutlich bessere Ergebnisse bei den Screening-Tests erzielten als der Durchschnitt und zusätzlich das jeweils verletzte linke Bein, besser abschnitt als das unverletzte rechte Bein, kommen wir zu einer kritischen Betrachtung der Screening-Tests. Unsere Studie beweist, dass aus medizinischer Sicht eher in die Integration eines allgemeinen Präventionsprogramms investiert werden sollte, als die aktuellen individuellen Screening-Testungen weiter durchzuführen. Die Wirksamkeit dieser Verletzungspräventionsprogramme wurde bereits in mehreren Studien bewiesen. Dabei sind Programme, die sowohl vor als auch während der Saison durchgeführt werden wirksamer als Programme, die entweder nur vor oder nur während der Saison durchgeführt werden. Am wirksamsten für die Prävention von vorderen Kreuzbandverletzungen erwies sich eine Kombination aus plyometrischem Training und Koordinationstraining, wobei das Training mindestens einmal pro Woche stattfinden sollte. Gerade im Jugendbereich sind Verletzungspräventionsprogramme zu empfehlen. Es

konnte eine gesteigerte prophylaktische Wirkung der Präventionsprogramme bei Personen unter 18 Jahren im Vergleich zu Erwachsenen festgestellt werden (Anderson et al. 2016), was noch einmal die Wichtigkeit solcher Programme im Jugendbereich unterstreicht. Vor allem bei den Handballspielerinnen sollte gesteigerter Wert auf das Krafttraining der Rumpf-, Oberschenkel- und Unterschenkelmuskulatur gelegt werden, um die hormonell bedingten Schwachstellen im Bereich des Bandapparates im Knie auszugleichen. Verletzungen des vorderen Kreuzbandes führen zu mehrmonatigen Ausfällen der Spieler und können die Ursache dafür sein, dass die Spieler nicht mehr das Leistungsniveau erreichen, das sie vor der Verletzung hatten. Aus diesem Grund ist es enorm wichtig, die Präventionsprogramme ernst zu nehmen und auf eine gewissenhafte Durchführung zu achten. Dies fordert zum einen die Konsequenz des Trainers zum anderen die Compliance der Spieler.

6. Literaturverzeichnis

1. Achenbach, Leonard; Krutsch, Volker; Weber, Johannes; Nerlich, Michael; Lutig, Patrick; Loose, Oliver et al. (2018): Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 26 (7), S. 1901–1908. DOI: 10.1007/s00167-017-4758-5.
2. Anderson, Michael J.; Browning, William M.; Urband, Christopher E.; Kluczynski, Melissa A.; Bisson, Leslie J. (2016): A Systematic Summary of Systematic Reviews on the Topic of the Anterior Cruciate Ligament. In: *Orthopaedic journal of sports medicine* 4 (3), 2325967116634074. DOI: 10.1177/2325967116634074.
3. Bahr, Roald (2016): Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will... A critical review. In: *British journal of sports medicine* 50 (13), S. 776–780. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096256.
4. Beynnon, B.; Howe, J. G.; Pope, M. H.; Johnson, R. J.; Fleming, B. C. (1992): The measurement of anterior cruciate ligament strain in vivo. In: *International orthopaedics* 16 (1), S. 1–12.

5. Bishop, C.; Read, P.; Walker, S. (Hg.) (2015): Professional Strength and Conditioning. Assessing movement using a variety of screening tests.
6. Bloch, H.; Klein, C.; Luig, P.; Riepenhof, H. (2017): Return-to-Competition. In: *Trauma Berufskrankh* 19 (1), S. 26–34. DOI: 10.1007/s10039-017-0236-z.
7. Draganich, L. F.; Vahey, J. W. (1990): An in vitro study of anterior cruciate ligament strain induced by quadriceps and hamstrings forces. In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 8 (1), S. 57–63. DOI: 10.1002/jor.1100080107.
8. Ford, Kevin R.; Myer, Gregory D.; Hewett, Timothy E. (2003): Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. In: *Medicine and science in sports and exercise* 35 (10), S. 1745–1750. DOI: 10.1249/01.MSS.0000089346.85744.D9.
9. Frost, David M.; Beach, Tyson A. C.; Callaghan, Jack P.; McGill, Stuart M. (2015): The Influence of Load and Speed on Individuals' Movement Behavior. In: *Journal of strength and conditioning research* 29 (9), S. 2417–2425. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000264.
10. Fukuda, Yukihiisa; Woo, Savio L-Y; Loh, John C.; Tsuda, Eiichi; Tang, Peter; McMahon, Patrick J.; Debski, Richard E. (2003): A quantitative analysis of valgus torque on the ACL. A human cadaveric study. In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 21 (6), S. 1107–1112. DOI: 10.1016/S0736-0266(03)00084-6.
11. Fuller, C. W.; Ekstrand, J.; Junge, A.; Andersen, T. E.; Bahr, R.; Dvorak, J. et al. (2006): Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. In: *British journal of sports medicine* 40 (3), S. 193–201. DOI: 10.1136/bjsm.2005.025270.
12. GOTS - Gesellschaft für OrthopädischTraumatologische Sportmedizin (Hg.) (2010): Vorderes Kreuzband. Prävention von Kreuzbandverletzungen. 2. Auflage: Liebeskind Druck GmbH Apolda.
13. Grifka, J.; Krämer, J.; Baier, C.; Grifka, Joachim; Krämer, Jürgen (2013): Orthopädie Unfallchirurgie. 9., überarb. Aufl. Wien: Springer (Springer-Lehrbuch); Springer (Springer-Lehrbuch).
14. Grindem, Hege; Snyder-Mackler, Lynn; Moksnes, Håvard; Engebretsen, Lars; Risberg, May Arna (2016): Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction. The Delaware-Oslo ACL cohort study. In: *Bri-*

- tish journal of sports medicine* 50 (13), S. 804–808. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096031.
15. Hewett, Timothy E.; Myer, Gregory D.; Ford, Kevin R. (2004): Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 86-A (8), S. 1601–1608.
 16. Hewett, Timothy E.; Myer, Gregory D.; Ford, Kevin R.; Heidt, Robert S.; Colosimo, Angelo J.; McLean, Scott G. et al. (2005): Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes. A prospective study. In: *The American journal of sports medicine* 33 (4), S. 492–501. DOI: 10.1177/0363546504269591.
 17. Holden, Sinéad; Boreham, Colin; Delahunt, Eamonn (2016): Sex Differences in Landing Biomechanics and Postural Stability During Adolescence. A Systematic Review with Meta-Analyses. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 46 (2), S. 241–253. DOI: 10.1007/s40279-015-0416-6.
 18. Kernozek, Thomas W.; Torry, Michael R.; van Hoof, Heather; Cowley, Hanni; Tanner, Suzanne (2005): Gender differences in frontal and sagittal plane biomechanics during drop landings. In: *Medicine and science in sports and exercise* 37 (6), 1003-12; discussion 1013.
 19. Krosshaug, Tron; Nakamae, Atsuo; Boden, Barry P.; Engebretsen, Lars; Smith, Gerald; Slauterbeck, James R. et al. (2007): Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball. Video analysis of 39 cases. In: *The American journal of sports medicine* 35 (3), S. 359–367. DOI: 10.1177/0363546506293899.
 20. Krosshaug, Tron; Steffen, Kathrin; Kristianslund, Eirik; Nilstad, Agnethe; Mok, Kam-Ming; Myklebust, Grethe et al. (2016): The Vertical Drop Jump Is a Poor Screening Test for ACL Injuries in Female Elite Soccer and Handball Players. A Prospective Cohort Study of 710 Athletes. In: *The American journal of sports medicine* 44 (4), S. 874–883. DOI: 10.1177/0363546515625048.
 21. Laver, Lior; Landreau, Philippe; Seil, Romain; Popovic, Nebojsa (Hg.) (2018): Handball Sports Medicine. Basic Science, Injury Management and Return to Sport. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

22. Leppänen, M.; Pasanen, K.; Kulmala, J-P; Kujala, U. M.; Krosshaug, T.; Kannus, P. et al. (2016): Knee Control and Jump-Landing Technique in Young Basketball and Floorball Players. In: *International journal of sports medicine* 37 (4), S. 334–338. DOI: 10.1055/s-0035-1565104.
23. Leppänen, Mari; Pasanen, Kati; Kujala, Urho M.; Vasankari, Tommi; Kannus, Pekka; Äyrämö, Sami et al. (2017): Stiff Landings Are Associated With Increased ACL Injury Risk in Young Female Basketball and Floorball Players. Response. In: *The American journal of sports medicine* 45 (3), NP5-NP6. DOI: 10.1177/0363546517692762.
24. Luig, P.; Bloch, H.; Burkhardt, K.; Klein, C.; Kühn, N. (2017): VBG-Sportreport 2017. Analyse des Unfallgeschehens der beiden höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball und Handball. Hg. v. Jedermann-Verlag GmbH (24-05-6031-1).
25. Luig, Patrick; Krutsch, Werner; Nerlich, Michael; Henke, Thomas; Klein, Christian; Bloch, Hendrik et al. (2018): Increased injury rates after the restructure of Germany's national second league of team handball. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 26 (7), S. 1884–1891. DOI: 10.1007/s00167-018-4851-4.
26. More, R. C.; Karras, B. T.; Neiman, R.; Fritschy, D.; Woo, S. L.; Daniel, D. M. (1993): Hamstrings--an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study. In: *The American journal of sports medicine* 21 (2), S. 231–237. DOI: 10.1177/036354659302100212.
27. Myklebust, Grethe; Engebretsen, Lars; Braekken, Ingeborg Hoff; Skjøberg, Arnhild; Olsen, Odd-Egil; Bahr, Roald (2003): Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players. A prospective intervention study over three seasons. In: *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 13 (2), S. 71–78.
28. Niethard, F. U.; Pfeil, J.; Biberthaler, P.: *Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie*. 7. Auflage: Georg Thieme Verlag KG.
29. Olsen, Odd-Egil; Myklebust, Grethe; Engebretsen, Lars; Bahr, Roald (2004): Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball. A systematic video analysis. In: *The American journal of sports medicine* 32 (4), S. 1002–1012. DOI: 10.1177/0363546503261724.

30. Olsen, Odd-Egil; Myklebust, Grethe; Engebretsen, Lars; Holme, Ingar; Bahr, Roald (2005): Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports. Cluster randomised controlled trial. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 330 (7489), S. 449. DOI: 10.1136/bmj.38330.632801.8F.
31. Olsen, O-E; Myklebust, G.; Engebretsen, L.; Bahr, R. (2006): Injury pattern in youth team handball. A comparison of two prospective registration methods. In: *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 16 (6), S. 426–432. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2005.00484.x.
32. Optojump Next - Was ist Optojump. Online verfügbar unter <http://www.optojump.com/was-ist-optojump.aspx>.
33. Padua, Darin A.; DiStefano, Lindsay J.; Beutler, Anthony I.; La Motte, Sarah J. de; DiStefano, Michael J.; Marshall, Steven W. (2015): The Landing Error Scoring System as a Screening Tool for an Anterior Cruciate Ligament Injury-Prevention Program in Elite-Youth Soccer Athletes. In: *Journal of athletic training* 50 (6), S. 589–595. DOI: 10.4085/1062-6050-50.1.10.
34. Padua, Darin A.; Marshall, Stephen W.; Boling, Michelle C.; Thigpen, Charles A.; Garrett, William E.; Beutler, Anthony I. (2009): The Landing Error Scoring System (LESS) Is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. The JUMP-ACL study. In: *The American journal of sports medicine* 37 (10), S. 1996–2002. DOI: 10.1177/0363546509343200.
35. Petersen; Petersen, Wolf; Zantop, Thore; Becker, Roland (2009): Das vordere Kreuzband. Transplantatwahl // Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie ; mit 29 Tabellen. Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie. 1. Aufl. Köln: Deutscher Ärzte-Verl.
36. Reckling, C.; Zantop, T.; Petersen, W. (2003): Epidemiologie von Handballverletzungen im Jugendalter. In: *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin* 17 (3), S. 112–117. DOI: 10.1055/s-2003-42149.
37. Rüter, Axel; Trentz, Otmar; Wagner, Michael (2004): Unfallchirurgie. 2., komplett überarb. und erw. Aufl. München: Urban & Fischer.
38. Simonsen, E. B.; Magnusson, S. P.; Bencke, J.; Naesborg, H.; Havkrog, M.; Ebstrup, J. F.; Sørensen, H. (2000): Can the hamstring muscles protect the anterior cruciate ligament during a side-cutting maneuver? In: *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 10 (2), S. 78–84.

39. Soligard, Torbjørn; Myklebust, Grethe; Steffen, Kathrin; Holme, Ingar; Silvers, Holly; Bizzini, Mario et al. (2008): Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers. Cluster randomised controlled trial. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 337, a2469. DOI: 10.1136/bmj.a2469.
40. Soligard, Torbjørn; Nilstad, Agnethe; Steffen, Kathrin; Myklebust, Grethe; Holme, Ingar; Dvorak, Jiri et al. (2010): Compliance with a comprehensive warm-up programme to prevent injuries in youth football. In: *British journal of sports medicine* 44 (11), S. 787–793. DOI: 10.1136/bjsm.2009.070672.
41. Steffen, K.; Myklebust, G.; Olsen, O. E.; Holme, I.; Bahr, R. (2008): Preventing injuries in female youth football--a cluster-randomized controlled trial. In: *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 18 (5), S. 605–614. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2007.00703.x.
42. Tator, Charles H. (2008): Recognition and management of spinal cord injuries in sports and recreation. In: *Neurologic clinics* 26 (1), 79-88; viii. DOI: 10.1016/j.ncl.2007.11.003.
43. van Mechelen, W.; Hlobil, H.; Kemper, H. C. (1992): Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 14 (2), S. 82–99. DOI: 10.2165/00007256-199214020-00002.
44. Vordere Kreuzbandruptur (2014). Online verfügbar unter http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-005l_S1_Vordere_Kreuzbandruptur_abgelaufen.pdf.
45. Weineck, Anka; Weineck, Jürgen (2010): Leistungskurs Sport. Bd. 1: Sportbiologische und trainingswissenschaftliche Grundlagen. 8., unveränd. Aufl. Waldkirchen: Südost-Verl.-Service.
46. Weineck, Jürgen (1996): Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre ; unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings. 9. Aufl. Balingen: PERIMED-spitta Med. Verl.-Ges.
47. WP1207 Springen [Institut für Sportwissenschaft]. Online verfügbar unter <http://wiki.ifs-tud.de/biomechanik/projekte/ss2012/springen>, zuletzt geprüft am 12.01.2019.
48. Zebis, Mette K.; Andersen, Lars L.; Bencke, Jesper; Kjaer, Michael; Aagaard, Per (2009): Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament

ruptures by neuromuscular screening. In: *The American journal of sports medicine* 37 (10), S. 1967–1973. DOI: 10.1177/0363546509335000.

49. Zebis, Mette K.; Andersen, Lars L.; Brandt, Mikkel; Myklebust, Grethe; Bencke, Jesper; Lauridsen, Hanne Bloch et al. (2016): Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes. A randomised controlled trial. In: *British journal of sports medicine* 50 (9), S. 552–557. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094776.

7. Abkürzungsverzeichnis

- ACL: anterior cruciate ligament
- CI: Confidence Intervalle
- DHB: deutscher Handballbund
- LESS: Landing-Error-Scoring-System
- OR: Odds Ratio
- SD: Standardabweichung
- VBG: Verwaltungs - Berufsgenossenschaft
- VKB: Vorderes Kreuzband
- WM: Weltmeisterschaft

8. Danksagung

Mein großer Dank geht an meinen Doktorvater PD Dr. Werner Krutsch, der diese Arbeit durch Überlassen eines Themas und seine vortreffliche Betreuung ermöglicht hat. Besonders bedanken möchte ich mich noch bei meinem Betreuer Dr. Leonard Achenbach, der mir während der ganzen Entstehung meiner Doktorarbeit immerzu freundlich, entgegenkommend und hilfsbereit zur Seite stand und eine große Unterstützung darstellte.

Herrn Prof. Dr. Dr. Volker Alt danke ich für die Möglichkeit, diese Arbeit in seiner Abteilung durchführen zu können.

Vielen herzlichen Dank auch an meine Eltern, ohne deren dauerhafte Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

9. Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Pia Kuchler
Straße: Zwieselberg 93
Wohnort: 94227 Zwiesel
Telefon : 0160/96614458
E-Mail: pia.kuchler@gmx.de
Geburtsdatum: 17.11.1993
Familienstand: ledig

Bildung:

09/2000 - 07/2004 : Grundschule Zwiesel

09/2004 - 06/2012: Gymnasium Zwiesel

06/2012: Abitur am Gymnasium Zwiesel
mit Notendurchschnitt 1,5

10/2012 – 12/2017: Studium der Zahnmedizin an der Universitätsklinik
Regensburg

12/2017: Staatsexamen der Zahnmedizin an der Universität Regensburg
mit der Note: sehr gut

09/2018: Anstellung als Assistenz Zahnärztin in der Zahnarztpraxis Dr.
Görgner in Regen

10. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel genutzt habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche gekennzeichnet. Ich versichere außerdem, dass ich die beigefügte Dissertation nur in diesem und keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe, und dass diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsverfahren vorausgegangen sind.